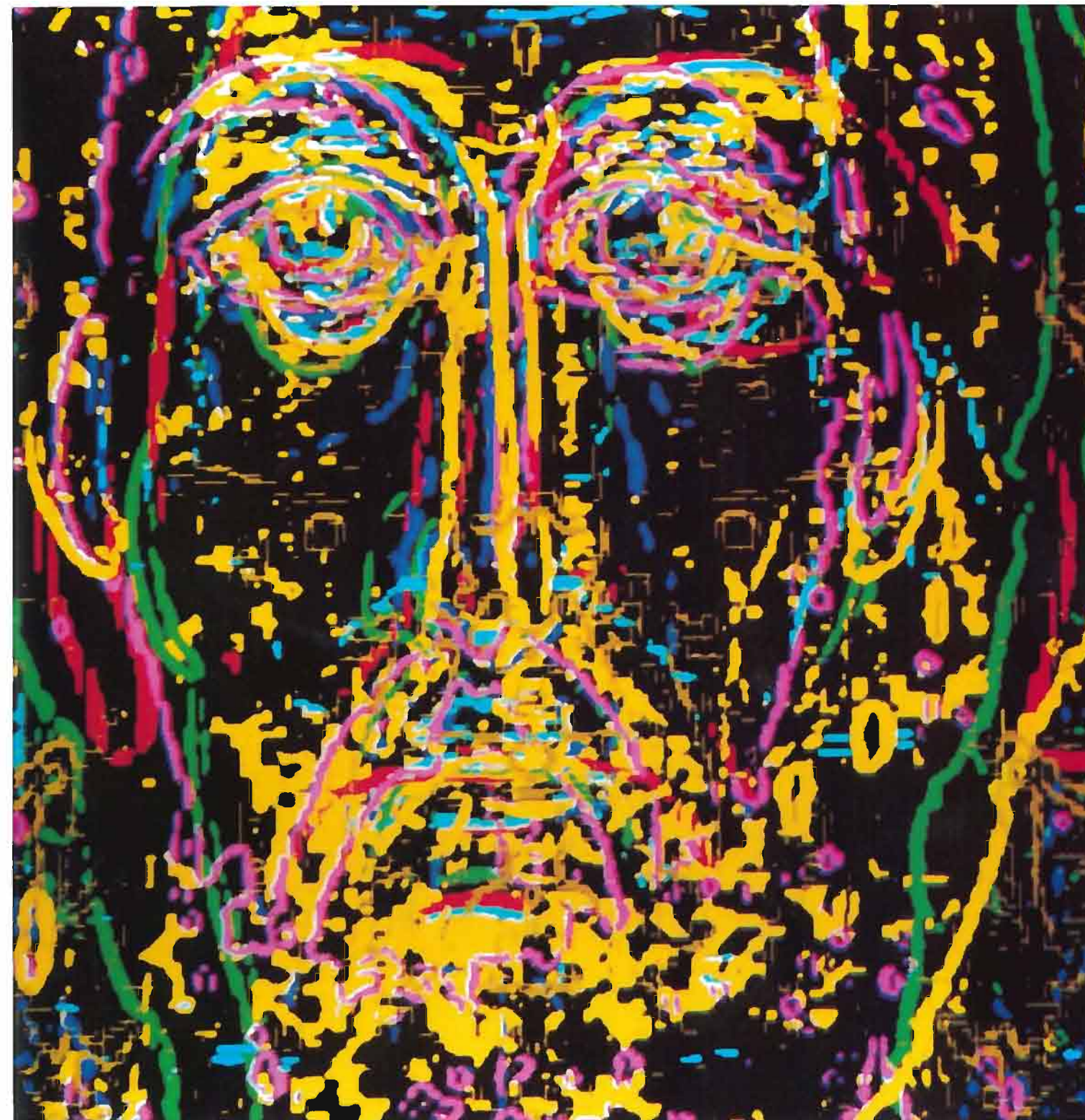
ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

ANNO XLV NUMERO 1 - 1996 EDIZIONI NUOVA ERI - Via Arsenale, 41 - TORINO L. 8000

sped. abb. post. Torino n. 1/96 - Legge 549/95 art. 2 comma 26

La ricerca informatica sull'immagine della Sindone (vedi articolo a pag. 1)

NUMERO 1 — APRILE 1996 — DA PAGINA 1 A PAGINA 40
ANNO XLV

ELETTRONICA
E TELECOMUNICAZIONI

RIVISTA QUADRIMESTRALE
A CURA DELLA RAI
EDITA DALLA NUOVA ERI

DIRETTORE RESPONSABILE
GIANFRANCO BARBIERI

COMITATO DIRETTIVO
M. AGRESTI, F. ANGELI,
G. M. POLACCO, R. CAPRA

REDAZIONE
RENATO CAPRA
GEMMA BONINO

CENTRO RICERCHE RAI
CORSO GIAMBONE, 68
TEL. (011) 88 00 (int. 31 32)
10135 TORINO

PUBBLICITÀ
GESTIONE DIRETTA NUOVA ERI - DIREZIONE COMMERCIALE:
VIA [illegible] - 00195 ROMA - TEL. (06) 3219414

Distribuzione per l'Italia:
SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
via Bettola 18 - 20092 Cinisello Balsamo -
Milano - Tel. (02) 660301 -
Fax (02) 66030320

Affiliato alla Federazione Italiana Editori Giornali

Stampa: ILTE - Moncalieri (Torino)

Sommario: *pagina*

L'elaborazione numerica e informatica dell'immagine della Sindone ha permesso il confronto, per sovrapposizione, con i contorni dei vari volti di Cristo raffigurati in alcune delle più note e importanti icone realizzate a partire dal VI secolo.
I contorni, ottenuti con un filtro «di Sobel», evidenziano l'esistenza di lineamenti comuni, a conferma dell'unicità dell'immagine di Cristo tramandata nei secoli.

UNA COPIA L. 8000 (ESTERO L. 15000)
COPIA ARRETRATA L. 15000 (ESTERO L. 15000)
ABBONAMENTO ANNUALE L. 20000 (ESTERO L. 40000)
VERSAMENTI ALLA NUOVA ERI - VIA ARSENALE, 41 - TORINO-C.C.P. N. 26960104
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - GRUPPO IV/70
REG. ALLA CANCELLERIA DEL TRIBUNALE C.P. DI TORINO AL N. 494 IN DATA 6-11-1951

LA RICERCA INFORMATICA SULL'IMMAGINE DELLA SINDONE

N. BALOSSINO*

SOMMARIO — Vengono illustrati i principali risultati ottenuti mediante l'elaborazione numerica dell'immagine della Sindone. Lo scopo consiste nel sottolineare come algoritmi di elaborazione di immagini possano contribuire a stabilire che la Sindone presenti caratteristiche eidetiche tali da escludere che si tratti di un artefatto di epoca medioevale.In particolare vengono indicati i metodi matematici utilizzati per ripulire l'immagine originale dai disturbi ed ottenere quelle con caratteristiche tridimensionali del volto e del corpo. Dopo aver letto l'immagine tridimensionale del volto, evidenziando particolari non visibili o poco nell'immagine bidimensionale, viene presentata l'immagine senza ferite che rappresenta il probabile volto dell'Uomo della Sindone. L'ipotesi della presenza dell'immagine di una moneta che permetterebbe di datare il telo viene formulata in termini di lettura di un'immagine della palpebra destra. Chiude l'articolo il confronto del volto dell'immagine della Sindone con alcune icone classiche dei secoli VI - XIII.

*SUMMARY — **The computer investigation on the Holy Shroud.** The main results obtained by numerical processing of the Shroud image are shown. The goal consists in underlining how image processing algorithms may state that the Shroud owns intrinsic eidethical features, that could deny the hypothesis of medieval artefact. The mathematical methods used both to suppress noise in the original image and to obtained the three dimensional relieves of face and body are reported. The three dimensional face's image is read emphasizing details not visible in the bidimensional image; this image has been smoothed in order to obtain a picture without wounds and blood of the Shroud's Man. The hypothesis of the presence in the right eye region of a coin in also formulated. A comparison between the face of the Shroud obtained by numerical precessing and some icons running from VI and XIII centuries closes the paper.*

1. Introduzione

È universalmente noto come Sindone il lenzuolo funerario nel quale Gesù fu avvolto dopo la deposizione dalla croce. Il tessuto di lino a spina di pesce lungo m. 4,36 e largo in media m. 1,10 è temporaneamente conservato accanto all'altare maggiore del Duomo di Torino, in attesa di essere riportato nella cappella elevata dall'architetto Guarino Guarini dietro l'abside. In tale cappella, attualmente in fase di restauro, la Sindone è stata posta dal 1694 cioè dopo oltre cento anni dal suo trasferimento a Torino, avvenuto nel 1578 e deciso da Emanuele Filiberto per abbreviare il viaggio di S. Carlo Borromeo che la voleva venerare in adempimento al voto fatto per la liberazione di Milano dalla peste.

Sul telo, di colore giallo ocra chiaro, sono visibili impronte che riproducono l'immagine frontale e dorsale di una figura umana (vedi figura 1); sono inoltre molto evidenti due righe nere parallele e numerosi triangoli simmetrici di tela bianca. Tali segni sono dovuti sia alle bruciature provocate da un incendio scoppiato nel 1532 nel Palazzo ducale dei Savoia a Chambéry dove la Sindone, a quell'epoca, era conservata sia ai rattoppi fatti dalle suore Clarisse per sostituire le parti di tessuto andate distrutte.

L'osservazione della Sindone mette in evidenza lo stretto rapporto esistente fra l'immagine in essa raffigurata e la descrizione evangelica della crocifissione di Gesù (con l'incoronazione di spine, la ferita al costato, le molteplici orme della flagellazione).

Della Sindone oggi conservata a Torino si incomincia a parlare in modo assolutamente certo e senza più alcuna interruzione dal 1353, quando a Lirey — piccolo paese della diocesi di Troyes, non lontano da Parigi — il conte Goffredo I di Charny, che ne è proprietario, la espone al culto come reliquia della morte di Gesù. Nel 1452 la Sindone viene ceduta al duca Ludovico I di Savoia che dal 1502 la custodisce nella «Sainte Chapelle» di Chambéry. La proprietà del telo, per volontà testamentaria di Umberto II di Savoia, è passata nel 1983, data della sua morte, alla Santa Sede, che ne ha confermato custode l'arcivescovo di Torino pro tempore.

La storia della Sindone antecedentemente la sua comparsa a Lirey non è facile da delineare. Ciò non significa che manchino notizie anteriori al XIV secolo; anzi, sono numerose quelle che raccontano, anche se in modo non continuativo, le vicende del lenzuolo in cui Gesù venne avvolto dopo la sua morte. Non sempre è facile attribuire tali notizie alla Sindone che oggi noi possediamo; sta di fatto però che essa è l'unico lenzuolo con tali precise caratteristiche che ci è pervenuto.

* Prof. Nello Balossino del Dipartimento di Informatica dell'Università degli Studi di Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 10 aprile 1996.

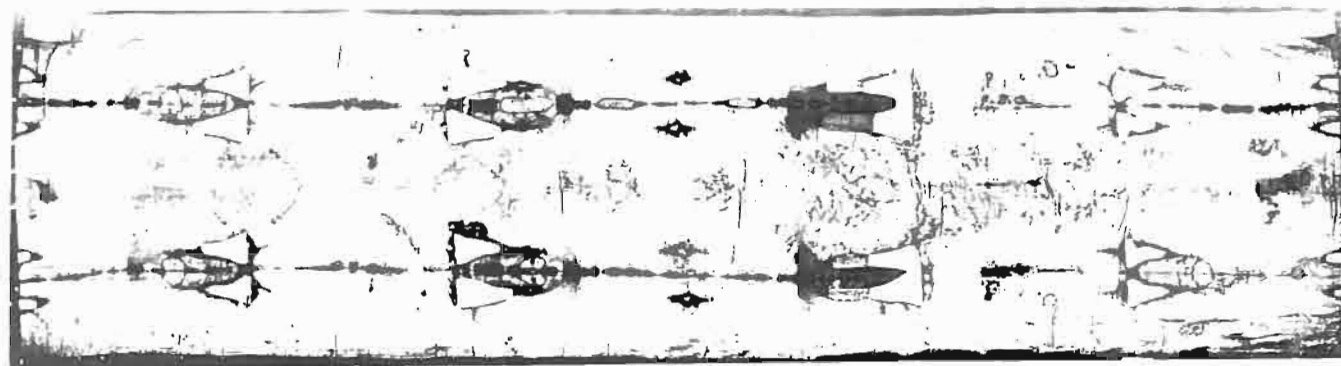



Fig. 1 — Positivo della fotografia della Sindone scattata da Giuseppe Enrie nel 1931.

Le tracce, per quanto riguarda il periodo più antico, sono offerte da documenti apocrifi, dai resoconti dei cronisti e dai racconti dei pellegrini che visitavano la Terra Santa. Successivamente, secondo alcuni storici, la storia della Sindone si confonde con quella del cosiddetto Mandylion di Edessa che era un telo non dipinto da mani d'uomo raffigurante il «sacro volto di Cristo» e che probabilmente era la Sindone ripiegata in otto parti in modo da mostrare, sull'unica faccia visibile. il solo volto. A Costantinopoli la Sindone è ancora vista dai crociati latini durante la conquista ed il saccheggio della città nel 1203-1204: importante a questo proposito è la testimonianza di Robert de Clary, un cavaliere francese, che descrive dettagliatamente luogo e modalità della sua esposizione al culto, precisando che il lenzuolo è ora esposto in tutta la sua estensione. Dopo 150 anni lo stesso lenzuolo si trova a Lirey in possesso degli Charny. Un'interessante documentazione parallela è offerta dall'arte cristiana che, a partire dal VI secolo, rappresenta il volto di Cristo secondo uno schema costante, con forti analogie con il volto sindonico: volti con barba e capelli lunghi — divisi alla sommità del capo, spesso completati da un ricciolo lasciato libero al centro della fronte — che quasi sempre mostrano un'asimmetria dovuta ad un gonfiore del volto stesso.

La ricerca scientifica sulla Sindone, sviluppatasi soprattutto in questo secolo, ha cercato principalmente di stabilire, utilizzando le conoscenze provenienti da svariati campi di ricerca, se si tratta di un'opera manufatta o dell'impronta lasciata da un cadavere, se il telo può avere avvolto veramente il cadavere di Gesù e quali sono le modalità con le quali le impronte si sono formate.

Le discipline scientifiche che si occupano della Sindone spaziano dalla medicina alle scienze chimico-fisiche, dalla biologia all'informatica. I medici per primi (cominciando dal francese Pierre Barbet, 1932) misero in evidenza le numerosissime ferite presenti sul corpo dell'Uomo della Sindone (dalle tumefazioni al volto alle ferite al capo dovute a un casco di spine, dalla ferita da taglio all'emitorace destro a quelle ai polsi e ai piedi provocate dalla penetrazione di chiodi, da quelle al dorso e ai glutei caratteristiche del supplizio della flagellazione alle escoriazioni sulle spalle dovute al trasporto di un oggetto pesante) che provano trattarsi dell'immagine lasciata dal cadavere di un uomo dapprima flagellato e poi crocifisso.

Il cammino scientifico è stato caratterizzato dal sorgere di centri e gruppi di ricerca tra i quali particolare rilievo hanno il Centro Internazionale di Sindonologia (fondato a Torino nel 1959) che pubblica la rivista «Sindon» e gli Atti dei numerosi congressi nazionali ed internazionali che lo stesso organizza, e lo STURP, un'associazione di ricercatori statunitensi che nel 1978, al termine dell'ostensione che vide l'afflusso a Torino di oltre tre milioni di persone, effettuò una serie di esami e di prelievi sulla Sindone.

Nel 1973 (e nuovamente nel 1978) il biologo e criminologo svizzero Max Frei Sulzer del Centro Internazionale di Sindonologia, effettua sulla Sindone alcuni prelievi di microtracce, rinvenendo granuli di polline di piante fiorifere, la cui identificazione ha consentito di provare la permanenza prolungata della Sindone, oltre che in Europa, anche nelle regioni palestinese ed anatolica.

In seguito agli esami effettuati nel 1978 Pier Luigi Baima Bollone (attuale direttore del Centro Internazionale di Sindonologia) individua su alcuni fili prelevati dalle cosiddette «zone ematiche» della Sindone dapprima la presenza di tracce di sangue, poi la natura umana di questo e successivamente ne determina anche il gruppo che risulta essere AB; inoltre, tra le varie microtracce da lui individuate, alcune risultano possedere le caratteristiche di globuli rossi mentre altre corrispondono a residui di mirra e di aloe. Gli scienziati dello STURP confermano la presenza di tracce di sangue e, mediante una complessa serie di esami (spettroscopia sia in luce riflessa sia in fluorescenza ai raggi X e ai raggi ultravioletti, termografia, radiografia, ecc.), accertano l'assoluta mancanza sul lenzuolo di pigmenti e coloranti, dimostrando inoltre che l'immagine corporea è assente al di sotto delle macchie ematiche (e dunque si è formata successivamente ad esse) e che è dovuta ad un'ossidazione disidratante della cellulosa delle fibre superficiali del tessuto avvenuta tramite un processo di formazione ancora ignoto e certamente non dovuto all'uso di mezzi artificiali.

2. L'elaborazione della Sindone con strumenti informatici

L'informatica è in grado di fornire contributi fondamentali alla ricerca scientifica sulla Sindone; in particolare l'eidomatica (contrazione di eidos = immagine e informatica) cioè l'insieme delle discipline che concorrono all'elaborazione immagini mediante computer, permette di ottenere notevoli risultati su due linee di interesse: esaltazione del contenuto di informazione eidetica presente sulla Sindone e individuazione di caratteristiche peculiari dell'immagine al fine di contribuire ad affermare che non si tratta di un manufatto ma è l'impronta lasciata da un cadavere sottoposto a martirio.

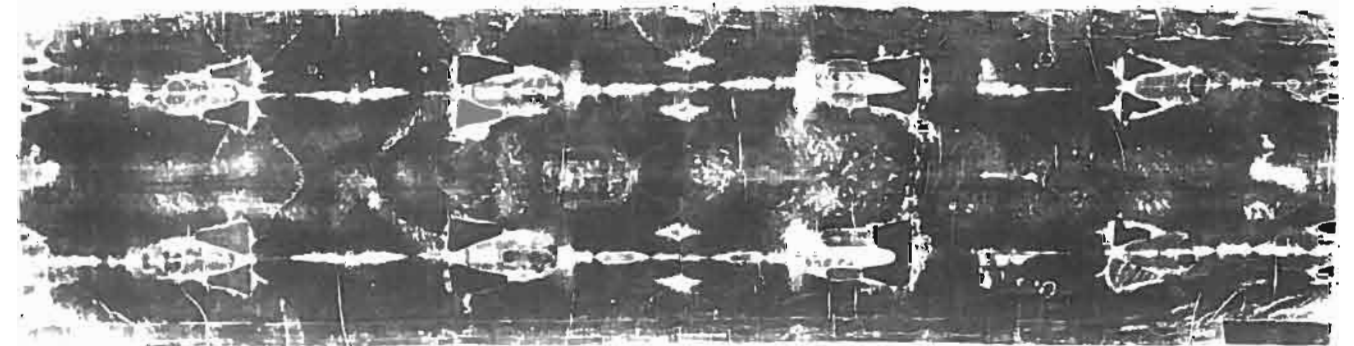



Fig. 2 — Negativo fotografico della Sindone scattata da Giuseppe Enrie nel 1931.

Nel primo caso occorre esaltare i dettagli presenti nell'immagine agendo con filtraggi opportuni sull'immagine ripulita dai disturbi. Nel secondo invece si introduce il rilievo in modo da ottenere l'aspetto tridimensionale del corpo che è stato avvolto nel lenzuolo e si usano tecniche di analisi di immagini che permettono di escludere la presenza di strutture eidetiche preferenziali associabili a manufatti.

Una caratteristica straordinaria posseduta dalla Sindone che è legata al procedimento fotografico è la negatività: le impronte che costituiscono l'immagine si comportano infatti come un negativo fotografico (fatta eccezione per le macchie di sangue) cioè contengono tinta scura in corrispondenza a zone in rilievo del soggetto rappresentato e viceversa. Nel negativo fotografico è presente anche il concetto di trasposizione della parte destra con la sinistra e viceversa; così è nella Sindone che pertanto può essere considerata un'immagine ottenuta per contatto del telo di lino posto sul cadavere. Durante l'ostensione del 1898 fu l'avvocato Secondo Pia ad accorgersi che nello sviluppo del negativo delle foto, da lui scattate con incarico ufficiale, compariva la figura positiva di un uomo; questo evento ha dato praticamente inizio alla storia della ricerca scientifica sulla Sindone.

Fig. 3 Negativo fotografico del volto della Sindone.

La figura 2 riporta il negativo fotografico della Sindone e la figura 3 il particolare del volto.

Le successive fotografie di Giuseppe Enrie, realizzate nel 1931, confermarono la straordinaria caratteristica dell'impronta e diedero vita a ricerche scientifiche che si svilupparono coinvolgendo numerose discipline scientifiche.

Da quanto detto ne segue che se l'immagine della Sindone fosse un falso pittorico, qualcuno avrebbe dovuto dipingere la figura di un uomo in negativo; questo fatto è innaturale e non poteva certo essere realizzato nel medioevo epoca in cui oltretutto il concetto di fotografia non era ancora noto.

3. La tridimensionalità

Lo studio della Sindone mediante computer fu iniziato nel 1977 ad opera degli americani Eric J. Jumper e John P. Jackson che elaborarono con procedimenti informatici un'ulteriore caratteristica straordinaria dell'immagine non presente nelle normali fotografie e in qualunque disegno o pittura: la tridimensionalità. La tridimensionalità è la caratteristica di un corpo di estendersi nelle tre direzioni; un'immagine possiede caratteristiche di tridimensionalità se è possibile ricavare le informazioni spaziali del corpo in esso rappresentato. In un'immagine la tridimensionalità si manifesta con valori di luminanza che variano in funzione della distanza degli elementi strutturali del corpo rispetto al supporto dell'immagine stessa. Nel caso della Sindone i toni di tinta bruna sono più marcati per le parti più sporgenti della figura cioè fronte , naso, petto e mento, fino ad annullarsi senza soluzione di continuità per le altre parti: fra tonalità di colore e rilievo deve quindi esistere una relazione analitica.

Fig. 4 — Elaborazione del volto della Sindone mediante filtro mediano bidimensionale 7×7.

Il primo a notare che l'intensità dell'immagine della Sindone sembrava variare inversamente con la distanza tra tela e corpo, cioè tanto più il corpo è vicino al telo, tanto più l'immagine appare scura, fu Paul Vignon nel 1902, epoca in cui non era possibile verificare l'ipotesi formulata per mancanza dei dispositivi di elaborazione automatica. I ricercatori americani adottarono per la loro elaborazione tridimensionale eseguita sui computer della NASA una legge iperbolica di trasformazione dell'intensità dei punti dell'immagine (pixel)in un valore finito del rilievo.

Il professor Giovanni Tamburelli dell'Università di Torino, assistendo nel maggio 1978 ad una conferenza sulla Sindone, rimase interdetto circa la qualità delle immagini del corpo e in particolare del volto ottenute da Jumper e Jackson; queste infatti presentavano una definizione minore dell'immagine originale bidimensionale. Tamburelli diede vita allora a Torino a un gruppo di ricerca che iniziò gli studi informatici sulla Sindone. I primi risultati furono ottenuti già nell'estate del 1978 e negli anni successivi furono continuamente aggiornati e ampliati. Tali studi della Sindone con strumenti informatici proseguono tuttora, anche dopo la morte di Tamburelli (avvenuta nel 1990), da parte dell'autore.

L'immagine numerica del volto della Sindone, sulla quale sono state eseguite le elaborazioni a cui si farà riferimento nel seguito, è stata ricavata da una diapositiva 24x36 riproducente la fotografia ufficiale di Giuseppe Enrie del 1931. Il dispositivo di acquisizione ha convertito l'immagine analogica nel formato numerico con risoluzione 512x512 pixel e 256 livelli di grigio. Per eliminare i disturbi presenti sull'immagine sotto forma di punti e macchie di limitate dimensioni, si è applicato un filtro mediano 7x7; il filtro non lineare mediano presenta infatti la caratteristica di sopprimere isolati gruppi di punti dell'immagine, se la loro estensione è minore di metà della finestra del filtro, senza interferire con i contorni e i particolari dell'immagine. Il filtro opera su una finestra quadrata comprendente m x m punti, ordinandoli in modo non decrescente e prendendo come valido il valore che divide a metà la distribuzione. La figura 4 permette di rilevare la riduzione di rumore ottenuto usando un filtro mediano 7x7; l'immagine ottenuta presenta inoltre un elevato contrasto e un notevole rapporto segnale/ disturbo.

La figura 5 ottenuta mediante differenza fra la figura 3 e la figura 4, mostra il rumore eliminato dall'immagine originale. Si può osservare come le informazioni rimosse siano insignificanti nella valutazione delle caratteristiche del volto; questo prova che il filtro mediano adottato non ha interagito con il contenuto eidetico dell'immagine.

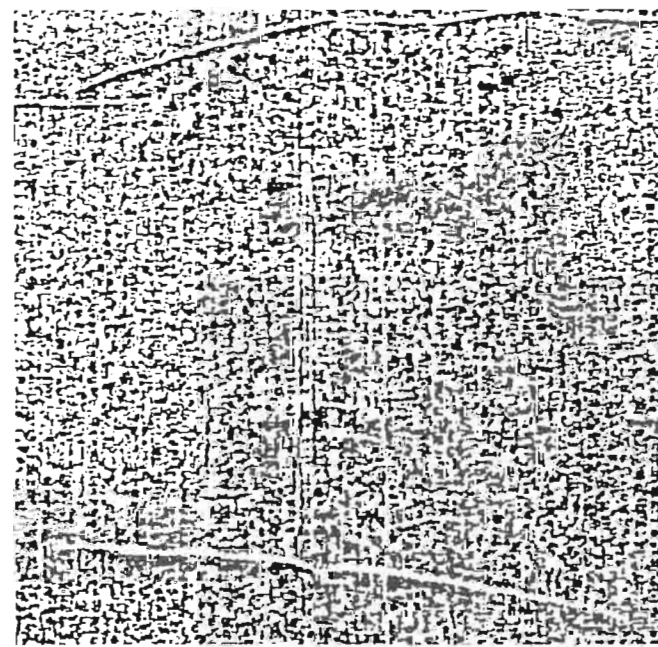



Fig. 5 — Immagine differenza tra la figura 3 e la figura 4.

Al fine di evitare difficoltà analitiche nella determinazione del rilievo in funzione della luminanza dei pixel, è opportuno valutare la distanza fra corpo e telo secondo la linea verticale supponendo il corpo in posizione supina. L'ipotesi formulata è che alla formazione di un pixel dell'immagine abbiano contribuito oltre al punto in esame anche i punti di una regione adiacente. Considerando un piano x,y sul quale sia supposto disteso il lenzuolo e indicando con i(u,v) la luminanza del generico pixel dell'immagine sul lenzuolo e con d(u,v) la corrispondente distanza del punto della superficie corporea misurata secondo la verticale possiamo scrivere:

$$[1] \qquad i(u,v) = F_{uv}\,[d(x,y)]$$

In prima approssimazione la [1] può essere scomposta nella somma di una funzione e di un funzionale che tenga conto del contributo all'intensità di un punto dell'immagine dovuto ai punti limitrofi e quindi si può scrivere:

$$[2] \qquad i(u,v) = f[d(u,v)] + F[d(x,y)]_{x\neq u,\, y\neq v}$$

L'elevata definizione dei particolari dell'immagine della Sindone è indice di una ridotta interferenza su un dato punto da parte degli altri punti. Ne segue che il funzionale F fornisce un contributo piuttosto ridotto che può essere supposto formalmente uguale per ogni punto u,v e può essere rappresentato in modo approssimato con un filtro numerico bidimensionale.

Per ricavare la tridimensionalità dell'immagine occorre effettuare la trasformazione inversa della [1] e cioè ricavare:

$$[3] \qquad d(u,v)^{-1} = F[i(x,y)]$$

Scomponendo la [3] nella somma di una funzione g e di un funzionale G otteniamo:

$$[4] \qquad d(u,v) = g[i(u,v)] + G[i(x,y)]_{xu,\, yv}$$

e quindi anche G, con una certa approssimazione, potrà essere realizzato per mezzo di una filtro numerico che risulta essere importante per migliorare la regolarità e la definizione dell'immagine.

In luogo della variabile d è opportuno considerare la variabile «vicinanza» $\delta = d_{max} - d$

dove d_{max} è la massima distanza considerata dal lenzuolo.

La variabile vicinanza risulterà una funzione crescente dell'intensità luminosa dell'immagine e per essa il primo termine della [4] potrà essere rappresentato mediante uno sviluppo in serie di Mc Laurin. Si è verificato sperimentalmente che i termini del polinomio con grado superiore al secondo non hanno una sensibile influenza sulla fisionomia dell'immagine tridimensionale ottenuta e sull'entità dei particolari ricavabili. Si può pertanto scrivere:

$$[5] \qquad \delta_{n,m} = k_1 i_{n,m} + k_2 i^2_{n,m} + k_3 i^3_{n,m} + \ldots H(i_{r,s})_{rn,sm}$$
$$\cong k_1 i_{n,m} + k_2 i^2_{n,m} + H(i_{r,s})_{r\neq n, s\neq m}$$

LA RICERCA INFORMATICA SULL'IMMAGINE DELLA SINDONE

dove k_1, k_2, sono i coefficienti dello sviluppo in serie di Mc Laurin e H è il funzionale equivalente di G per la variabile che può essere rappresentato, con una buona approssimazione, da un filtro numerico.

I parametri che entrano negli sviluppi analitici sono stati determinati in modo che i lineamenti del volto, frutto dell'elaborazione, avessero dimensioni medie tra le minime e le massime accettabili dalla valutazione dell'intelligenza umana; in questo modo infatti ci si viene a trovare in una situazione prossima a quella reale.

Nell'elaborazione numerica per ricavare la tridimensionalità si è supposto che il lenzuolo avesse un'adeguata curvatura e cioè che assumesse la forma di una superficie curva regolare con una certa pendenza tra il naso e la fronte nonché che vi fosse contatto con i punti del corpo di massima intensità luminosa.

Il risultato dell'elaborazione è riportato in figura 6, nella quale sorprendentemente appaiono un rilievo ovunque regolare ed una definizione alquanto elevata; i parametri k_1 e k_2 sono stati variati mantenendo costante il massimo rilievo dell'immagine e cioè in modo tale che:

$$k_1 i_M + k_2 i^2_M = \text{cost}$$

dove i_M è il massimo valore di $i_{n,m}$.

Con la stessa tecnica utilizzata per il volto è stata effettuata l'elaborazione dell'immagine del corpo (vedi figura 7). Si è innanzitutto realizzata l'elaborazione dell'immagine bidimensionale in modo da eliminare il più possibile i disturbi. Successivamente si è introdotto il rilievo con una legge di compromesso diversa da quella usata per il volto, data la diversa distribuzione del sangue nelle rimanenti parti del corpo.

L'origine tridimensionale dell'immagine della Sindone è risultata pertanto pienamente confermata: il rilievo e la definizione dei particolari sono impressionanti sia sotto l'aspetto umano sia sotto quello scientifico.

Le due elaborazioni eidomatiche del volto e del corpo

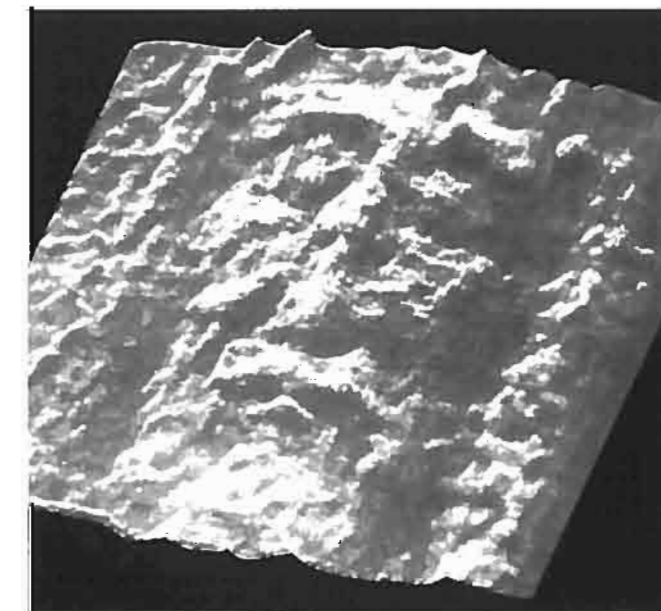



Fig. 6 — Rilievo tridimensionale del volto della Sindone.

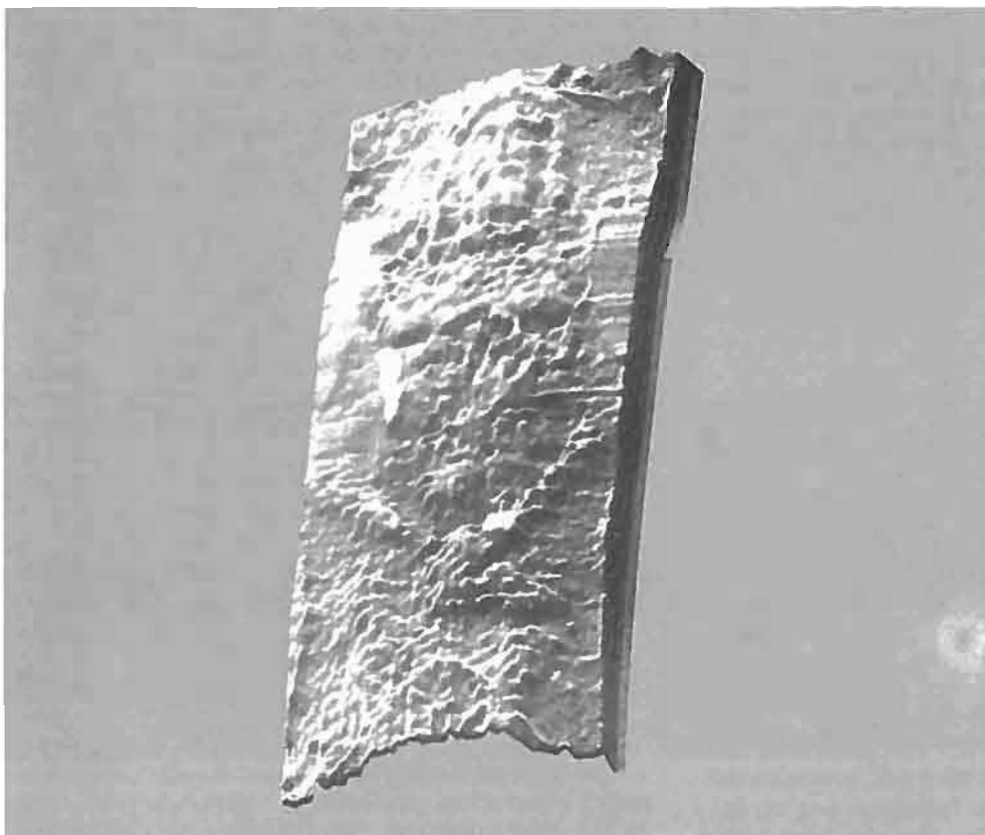



Fig. 7 — Rilievo tridimensionale del corpo della Sindone.

sono molto importanti perché hanno consentito di rilevare numerosi dettagli e particolari che nelle immagini bidimensionali originali non sono riscontrabili oppure lo sono in modo dubbio.

Si possono infatti leggere sulla Sindone, con l'ausilio dei dati forniti dall'elaborazione eidomatica, quasi tutte le torture subite dall'Uomo della Sindone, torture che, a posteriori, si dimostrano del tutto confrontabili con quelle subite da Gesù Cristo e descritte dai vangeli.

Il fatto che taluni particolari siano emersi soltanto dopo l'elaborazione tridimensionale esclude la possibilità di un qualunque intervento manuale nella formazione dell'immagine della Sindone. Infatti è inconcepibile che particolari significativi, invisibili a occhio nudo e visibili soltanto dopo l'elaborazione, siano stati inseriti in modo artificioso sull'immagine.

4. Analisi dettagliata dell'immagine tridimensionale

Facendo riferimento alla figura 6 che riporta l'immagine del volto, elenchiamo i principali dati emersi dalla ricerca eidomatica, unitamente a quelli già riscontrati sulle immagini bidimensionali, e associamo ad essi le più probabili ipotesi di interpretazione.

Per i dati nuovi forniti dall'eidomatica possiamo elencare:

— il sangue presente sull'intero volto, giustificabile solo con fenomeno di notevole gravità estraneo alla tortura della crocifissione e che potrebbe identificarsi con l'ematoidrosi, ovvero la sudorazione di sangue;
— i rivoli e grumi di sangue in gran parte inediti e tutti fluenti verso la parte anteriore del volto e dei capelli, fatto che conferma la morte sulla croce dell'Uomo della Sindone;
— le incisioni sullo zigomo sinistro dovute a traumi contusivi provocati probabilmente da percosse o da cadute su un terreno sconnesso; in corrispondenza a tali traumi gli aculei del casco di spine si sono incisi nella pelle sul lato sinistro della fronte generando il rivolo di sangue discendente sul lato sinistro del volto e gli altri rivoli che hanno inondato i capelli;
— il grumo rigato sulla palpebra sinistra dovuto al sangue fluito dalla fronte incisa dagli aculei del casco di spine;
— i due rivoli di sangue uscenti dal naso;
— la goccia di sangue sotto il labbro superiore;
— la goccia di sangue, nitidamente stereoscopica, sul lato destro del labbro superiore che fornisce l'inclinazione del capo subito prima della morte;
— la goccia di sangue a forma appuntita sulla narice destra corrispondente ad un graduale deflusso del sangue con il volto reclinato, cioè a morte avvenuta;
— la soluzione di continuità della piramide nasale dovuta probabilmente al trauma provocato da un corpo contundente.

5. Il volto naturale della Sindone

Le numerose ferite che compaiono sull'immagine tridimensionale del volto ne deturpano la bellezza e rendono interpretabile l'immagine come appartenente a un uomo non molto giovane, in contraddizione con l'età di Cristo.

D'altra parte l'elevata definizione dell'immagine tridimensionale del volto consente di intravedere i lineamenti del volto naturale dell'Uomo della Sindone. Si è ritenuto quindi di notevole interesse affrontare il problema di ripulire il volto tridimensionale dalle ferite e dalle tracce di sangue in modo da ottenere il più possibile un volto naturale e cioè quello che molto probabilmente era il volto di Gesù Cristo prima della passione, se il telo della Sindone ne ha avvolto il cadavere.

Fig. 8 — Rilievo tridimensionale del volto della Sindone privo di ferite.

Applicando metodi di filtraggio di tipo convolutivo con pesi legati alle proprietà statistiche delle sottoimmagini in cui l'immagine originale è stata suddivisa, sono stati eliminati i segni delle torture senza alterare i sottostanti lineamenti.

L'immagine ottenuta è quella di figura 8 in cui i lineamenti appaiono molto nitidi; questa è l'unica immagine tridimensionale del volto naturale dell'Uomo della Sindone finora ottenuta. Occorre notare che il leggero sfuocamento dell'immagine è prova che l'elaborazione realizzata è frutto di filtraggi numerici che hanno come effetto collaterale un effetto nebbia, nulla quindi è stato introdotto artificiosamente.

È necessario ribadire che l'informazione in essa contenuta è esclusivamente quella presente nell'immagine originale della Sindone, in quanto le elaborazioni effettuate non hanno introdotto alcuna informazione aggiuntiva; essa è da ritenersi pertanto molto vicina all'immagine vera del volto dell'Uomo della Sindone prima di subire la tortura e la crocifissione. Le differenze residue sono probabilmente dovute a una tumefazione generale del volto e all'irrigidimento della morte.

La figura 9 mette in evidenza come il filtraggio abbia mantenuto l'aspetto tridimensionale e siano rimaste in evidenza traumi dovuti alle ferite; se l'uomo della Sindone fosse stato anziano il filtraggio non sarebbe riuscito a eliminare completamente le pieghe dovute alla vecchiaia. Viene così a cadere l'obiezione che l'uomo della Sindone non poteva essere Gesù Cristo perché le immagini del volto bidimensionali e quella tridimensionale con ferite risultavano quelle di un uomo apparentemente anziano.

6. L'impronta di una moneta sulla palpebra destra

Lo studio di impronte dovute alla probabile presenza di monete romane, poste sulle palpebre del volto, secondo il costume dei tempi di Cristo e documentato da ricerche storico-archeologiche [9], riveste un'importanza fondamentale per la datazione della Sindone. L'eventuale conferma che le impronte siano effettivamente dovute alla presenza di monete e soprattutto l'identificazione delle stesse può risolvere infatti il problema della datazione della Sindone. In particolare, la nostra attenzione è rivolta alla zona orbitale destra sulla quale appaiono segni che sembrano fornire indicazioni ben precise sulla presenza di una monetina utilizzata per tenere chiuse le palpebre dell'Uomo della Sindone. Le ricerche in tale direzione sono iniziate nel 1951 a opera del teologo di Chicago padre F.L. Filas che effettuò una serie di studi in campo sia fotografico sia numismatico. Partendo da una copia delle lastre fotografiche originali della Sindone risalenti al 1931 e dovute ad Enrie, P.Filas affermò di individuare sulla palpebra destra del volto sindonico impronte estremamente simili a quelle esistenti sulla faccia di una moneta, un dilepton lituus, che presenta sul diritto il simbolo del lituo cioè una specie di pastorale circondata dalla scritta greca ΤΙΒΕΡΙΟΥ ΚΑΙΣΑΡΟΣ (vedi figura 10). Tale moneta risale ai tempi di Tiberio come si ricava dalla data sul lato opposto del conio, pesa poco più di 1 grammo e ha un diametro di circa 15 mm; sono state ritrovate copie che presentano deformazioni nel conio, variazioni nelle iscrizioni e abbreviazioni. In alcuni esemplari si può chiaramente distinguere la scritta TIBERIOY CAICAPOC in cui la lettera greca K è tata sostituita dalla C latina che ha la stessa pronuncia, mentre la lettera Σ diventa facilmente anch'essa una C.

Nel campo bidimensionale la migliore visione della lettera Y come terminale della parola TIBERIOY e delle lettere CAI facenti parte della parola CAISAROS o CAICAPOC scritte sulla moneta, si ha sul negativo della fotografia diretto o leggermente ingrandito come si vede in figura 11.

Fig. 9 — Confronto del volto della Sindone con ferite e senza.

Fig. 10 — Un Dilepton Lituus.

Fig. 12 — Immagine ingrandita della zona orbitale destra della figura 6.

L'immagine ingrandita della zona orbitale destra (vedi figura 12) mostra caratteristiche non rilevabili sulla stessa impronta ingrandita del telo. Si noti infatti in figura 12 il bordo ingrossato dell'impronta circolare, l'aspetto di piccolo cratere che l'impronta stessa presenta, la piccola impronta circolare all'interno del cratere e le quattro colature sul bordo inferiore dell'impronta.

Queste differenze possono essere spiegate nel seguente modo.

La moneta poggiata sulla palpebra destra subito dopo la deposizione della croce, ha provocato ai bordi una fuoriuscita di sangue non ancora del tutto coagulato. L'impronta circolare più piccola all'interno del cratere potrebbe essere dovuta alla parte interna della moneta successivamente rimossa. Le colature sono invece probabilmente dovute in massima parte al sangue sulle palpebre e derivanti, nel loro insieme da un'unica colatura che ha lasciato un'impronta divisa in quattro dalla striatura del lenzuolo.

Nell'immagine tridimensionale di figura12 le iscrizioni non risultano visibili perché l'immagine è stata filtrata con un filtro mediano 7×7 che, eliminando i disturbi, ha eliminato anche l'iscrizione sull'occhio destro (questo fatto è a favore dell'autenticità dell'iscrizione, infatti se questa fosse stata prodotta dalla geometria dell'ordito non sarebbe stata eliminata dal filtro mediano, così come non sono state eliminate le impronte in cui tale geometria è largamente presente).

Fig. 11 — Immagine dell'impronta di una moneta sull'orbita destra del volto della Sindone.

Fig. 13 — Immagine tridimensionale dell'impronta della moneta.

I risultati più significativi sono stati ottenuti introducendo il rilievo in un'immagine bidimensionale ingrandita dell'orbita destra (vedi figura 13). Come si può rilevare, la lettera precedente la *C* risulta essere, con una certa evidenza, una *Y*; d'altra parte la *Y* risulta anche essere staccata dalla *C*, come dovrebbe essere in quanto lettera terminale di *TIBEPIOY*.

Occorre sottolineare che le elaborazioni sono state effettuate su fotografie ufficiali di Enrie del 1931.

La moneta con il bastone ricurvo a forma di pastorale come riporta il collezionista californiano di monete ebraiche, Arden H. Brame Jr. II, è stata coniata nel 24/25 d.C., anno XI di Tiberio cioè nel periodo di Valerio Grato. Poiché storicamente Gesù fu crocifisso nella prima decade di aprile del 30 d.C. la prova della presenza di una monetina dell'epoca, avvalorata dalla conferma storica dell'usanza di porre monete sulle palpebre dei defunti, può fornire quindi una prova notevole sulla datazione della Sindone.

Fig. 14 — Immagine frontale del volto della Sindone ripulito dalle ferite.

7. La Sindone e le icone

L'elevata definizione dell'immagine tridimensionale ha permesso di ricavare il volto naturale dell'Uomo della Sindone (vedi figura 8). Questo risultato consente di verificare dal punto di vista eidomatico la corrispondenza — sostenuta dalla ricerca storico-iconografica — tra il volto dell'Uomo della Sindone e le più importanti icone raffiguranti il volto di Cristo.

Per poter effettuare il confronto nella maniera più diretta è stato necessario ricavare una rappresentazione diritta e

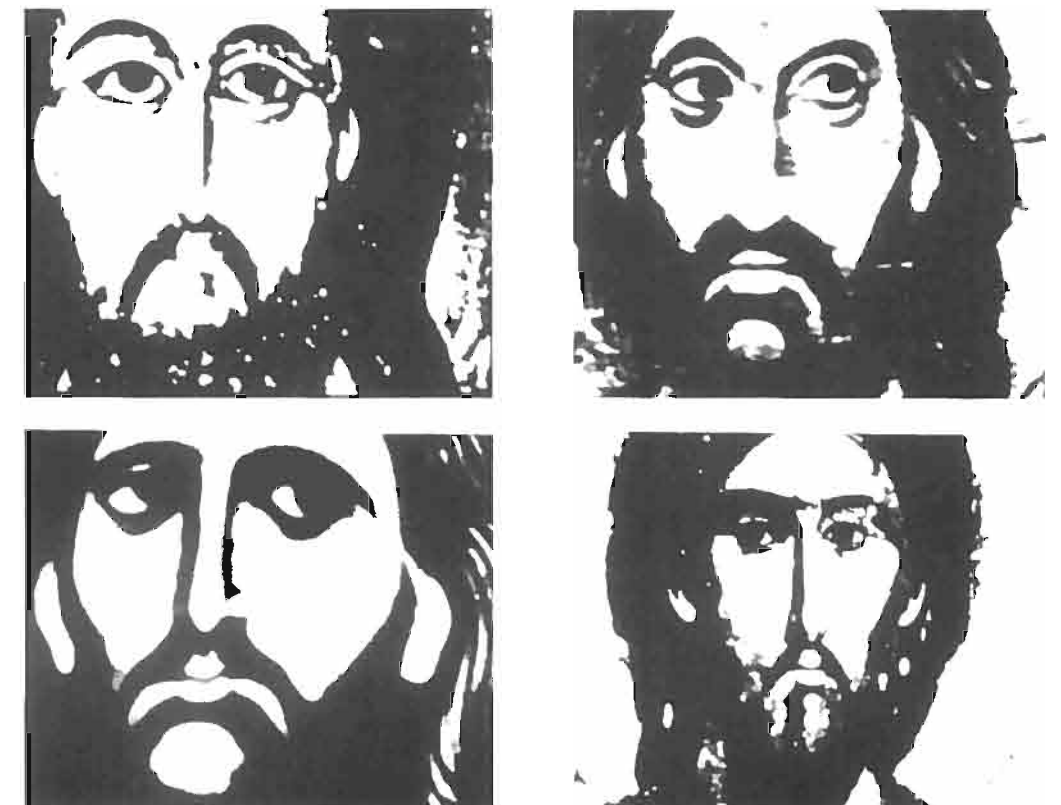



Fig. 15 — Alcuni esempi tratti dall'iconografia di Cristo. In particolare, in alto a sinistra: Cristo del Mandylion (VI secolo); in alto a destra: Cristo Pantocratore, Dafni (XI secolo); in basso a sinistra: Cristo benedicente, Duomo di Monreale (XII secolo); in basso a destra: Cristo del Monastero di Chilandari (XIII secolo).

frontale del volto di figura 8 mediante una trasformazione di shear che ha sottoposto l'immagine a una trasformazione di rotoscalamento secondo una retta di riferimento coincidente con il profilo della piramide nasale; il risultato dell'elaborazione è riportato in figura 14.

Successivamente alcune delle più note ed importanti icone di Cristo a partire dal VI secolo sono state numerizzate al fine di effettuare un'analisi comparativa con l'immagine tridimensionale diritta e priva di ferite dell'Uomo della Sindone; esse sono:

- Cristo del Mandylion (VI secolo);
- Cristo della chiesa di Santa Sofia a Salonicco (VII secolo);
- Cristo Pantocratore, Dafni (XI secolo);
- Cristo benedicente, Duomo di Monreale (XII secolo);
- Cristo del Meliore Toscano (XIII secolo);
- Cristo del Monastero di Chilandari (XIII secolo);

La Fig. 15 riporta quattro delle suddette icone.

Il confronto per sovrapposizione dei contorni dei vari volti di Cristo raffigurati nelle suddette icone — contorni ottenuti con un filtro «di Sobel» e successiva binarizzazione — evidenzia l'esistenza di lineamenti comuni a conferma dell'unicità dell'immagine di Cristo tramandata nei secoli (vedi figura 16).

Il passo successivo è stato quello di sovrapporre i tratti caratteristici dei volti delle suddette icone all'immagine tridimensionale diritta e priva di ferite dell'Uomo della Sindone. In figura 17 è riportata, come esempio, la sovrapposizione del volto dell'Uomo della Sindone e del contorno delle icone di figura 15.

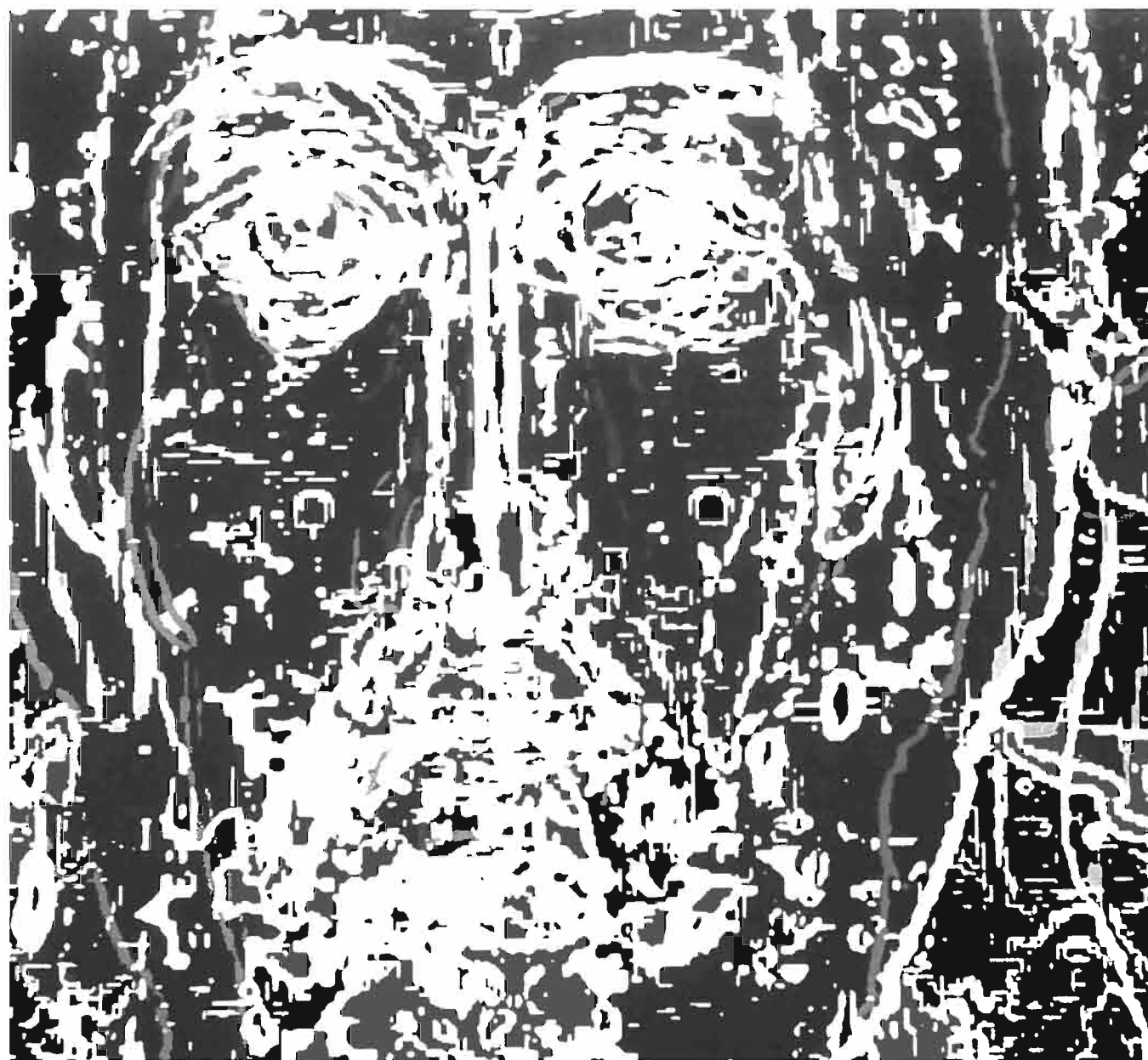



Fig. 16 — Immagine in bianco — nero della sovrapposizione dei contorni dei volti di alcune icone di Cristo; la stessa immagine a colori è riprodotta in copertina.

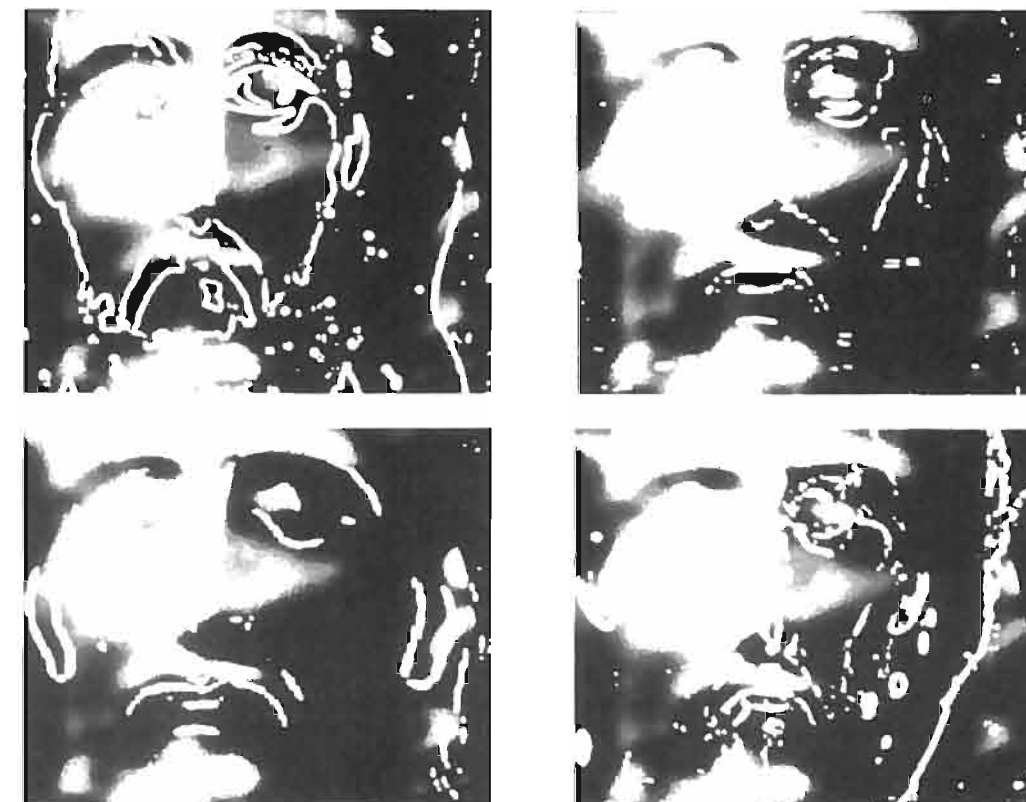



Fig. 17 — Sovrapposizione dei contorni dei volti di alcune icone di Cristo con il volto di figura 14.

I risultati ottenuti evidenziano un altissimo numero di punti di congruenza tali da far ritenere molto probabile l'ipotesi che il volto dell'Uomo della Sindone sia stato il prototipo al quale l'iconografia cristiana si è ispirata almeno a partire dal VI secolo.

8. Conclusioni

L'informatica ha permesso di mettere in evidenza un aspetto intrinseco molto importante dell'immagine della Sindone: la tridimensionalità. Il fatto che alcuni particolari siano emersi dopo l'elaborazione tridimensionale, esclude qualsiasi intervento manuale nella formazione dell'immagine; è infatti inconcepibile che particolari invisibili a occhio nudo diventino visibili solo dopo l'elaborazione.

In aggiunta, la presenza dell'impronta di una moneta sulla palpebra destra aumenta la probabilità che non si tratti di un artefatto; considerazioni analoghe valgono per la comparazione con l'iconografia di Cristo.

Sottolineiamo infine come solo l'utilizzo di strumenti informatici abbia permesso di ottenere il probabile volto di Cristo.

BIBLIOGRAFIA

1 - W.K.PRATT, *Digital Image Processing*, «Wiley», New York, 1978.

2 - R.C. GONZALES, P. WINTZ, *Digital Image Processing*, «Addison Wesley», 1987.

3 - A. ROSENFELD, A.C. KAK, *Digital Picture Processing*, «Academic Press» Vol. I, II, New York, 1982.

4 - G. TAMBURELLI, G. GARIBOTTO, *Nuovi sviluppi nella elaborazione dell'immagine sindonica*, «La Sindone e la Scienza», Ed. Paoline, 1978

5 - G. TAMBURELLI, *Some Results in the processing of the Holy Shroud of Turin*, «IEEE Transaction on Pattern Analysis and machine Intelligence»,vol. PAMI-3, N. 6, novembre 1981.

6 - G. TAMBURELLI, *Studio della Sindone mediante il calcolatore elettronico*, «L'Elettronica», N. 12 vol. LXX, 1983, pagg. 1135-1149.

7 - G. TAMBURELLI, F. OLIVERI, *Nuovo processamento dell'immagine sindonica*, AA. VV, La Sindone. Nuovi Studi e ricerche, Ed. Paoline , Cinisello B., 1986

8 - G. TAMBURELLI, N. BALOSSINO, *Ulteriori sviluppi nella elaborazione elettronica del volto sindonico*, «Atti del IV Congresso Nazionale di Studi sulla Sindone», Siracusa, ottobre 1987, pag. 120.

9 - F.L. FILAS, *The identificarin of Pilate coins on the Shroud*, «Sindon», dicembre 1983 pp. 65-73.

10 - N. BALOSSINO, G. TAMBURELLLI, *La datazione della Sindone e l'impronta della monetina*, «Atti del V Convegno nazionale di studi sulla Sindone», Cagliari, maggio 1990.

11 - J.J. LORRE, D.J LYNN, *Digital enhancement of images of the Shroud of Turin*, «Proc. U.S. Conf.Shroud of Turin, Albuquerque, NM», marzo 1977, pagg. 154-181.

12 - E. JUMPER, J. JACKSON, D. DEVAN, *Computer relate dinvestigations of the Holy Shroud*, «in Proc. U.S. Conf.Shroud of Turin, Albuquerque, NM», marzo 1977, pagg.197-218.

13 - J. JACKSON, E. JUMPER, B. MOHERN, K. STEVENSON, *The three dimensional image on Jesus' burial cloth*, «Proc. U.S. Conf.Shroud of Turin, Albuquerque, NM», marzo 1977, pagg. 74-94.

14 - T.M. MC COWN, *Cloth-body distance of the Holy Shroud of Turin*, «Proc. U.S. Conf.Shroud of Turin, Albuquerque, NM», marzo 1977, pagg. 95-109.

15 - P. L. BAIMA BOLLONE, *Rilievi e considerazioni medico legali sulla formazione delle immagini*, «Atti del Congresso internazionale di Sindonologia», Torino, 1978.

16 - G. TAMBURELLI, G. GARIBOTTO, *Nuovi sviluppi nell'elaborazione dell'immagine sindonica*, «Atti del Congresso internazionale di Sindonologia», Torino, 1978, pagg. 173-184, 354-362.

17 - G. TAMBURELLI, *Some results in the processing of the Holy Shroud of Turin*, «IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence», novembre 1981.

18 - G. TAMBURELLI, *La Sindone e l'informatica*, «Giornale dell'Accademia della Medicina di Torino», gennaio 1983, pagg. 240-253.

LE DISTORSIONI NON LINEARI NEGLI IMPIANTI DI CATV

FRANCO MUSSINO*

SOMMARIO — Le distorsioni non lineari negli impianti di distribuzione dei segnali televisivi mediante cavo coassiale o fibra ottica (impianti di CATV: Cable Television) rappresentano un importante fattore di degradazione della qualità dei segnali televisivi che giungono agli utenti. Vengono dapprima elencati i prodotti di intermodulazione, che nascono in presenza di molte portanti, dovuti alla non linearità della caratteristica di trasferimento dei dispositivi elettronici (amplificatori, modulatori, ecc.) usati nell'impianto. Si esaminano anche i modi più usuali per descrivere la non linearità in termini di punto d'intersezione o di compressione a 1 dB. Successivamente, dopo un rapido esame dei metodi di misura più usati per determinare le distorsioni non lineari, vengono dedotte le leggi di addizione dei prodotti di intermodulazione sia in funzione del numero dei canali distribuiti, sia del numero di dispositivi non lineari in cascata. Sono pure riportati i valori limite delle distorsioni non lineari raccomandati dalle normative nazionali ed internazionali.

*SUMMARY — **Non-linear distortions in CATV installations.** The non-linear distortions in the television signal distribution networks by coaxial cable or optical fibre (CATV installations: Cable Television) represent an outstanding factor of quality inpairment of the television signals reaching the users. First of all the paper lists the intermodulation products, arising in the presence of many carriers and due to the non-linearity of the transfer characteristic of electronics units (amplifiers, modulator, etc.) inserted in the installation. It also examines the most common modes for describing non-linearity in terms of intersection or compression point at 1 dB. Subsequently, after a brief analysis of the measuring methods more used for determining non-linear distortions, the laws intermodulation product addition, both versus the number of distributed channels, and versus the number of cascaded non-linear units, are inferred. Finally, the paper reports the limit values of non-linear distortions recommended by national and international standardisation.*

1. Introduzione

L'analisi dei fenomeni di non linearità interessa numerosi campi dell'ingegneria elettronica. L'aspetto che qui viene considerato ed anche il tipo di trattazione sono prevalentemente rivolti alle problematiche proprie dei sistemi elettronici applicati alle telecomunicazioni ed in particolare quelle dei sistemi di distribuzione dei segnali televisivi via cavo (coassiale o fibra ottica).

Viene dapprima svolta una analisi della caratteristica non lineare di un dispositivo generico applicando all'entrata uno o più segnali e ricavando le componenti lineari e non lineari d'uscita, fino al quinto ordine.

Successivamente si esaminano i metodi più usati per la valutazione della non linearità in termini di punto d'intersezione o di compressione a 1 dB.

Si esaminano, poi, i metodi di misura più comuni o raccomandati dalle normative. Particolare attenzione è rivolta alle leggi di addizione dei prodotti d'intermodulazione, specialmente per tenere conto degli effetti di accumulo dei prodotti d'intermodulazione a causa della presenza contemporanea di molti canali, giungendo a dedurre una legge che approssima molto bene la somma dei prodotti d'intermodulazione del terz'ordine con numero elevato di canali (fino a 100).

Infine si esaminano le normative internazionali della IEC (International Elettrotecnical Commission), europee del CENELEC e nazionali del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), che prevedono metodi di misura appropriati e raccomandano valori limite adeguati ai sistemi televisivi usati nella distribuzione via cavo.

2. La caratteristica non lineare

La caratteristica entrata-uscita di un dispositivo (doppio bipolo) generico (figura 1) è in genere non lineare e può essere rappresentata come riportato in figura 2.

Fig. 1 — Schema a blocchi del dispositivo non lineare.

* Ing. Franco Mussino del Dipartimento di Elettronica del Politecnico di Torino.

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 16 febbraio 1996.

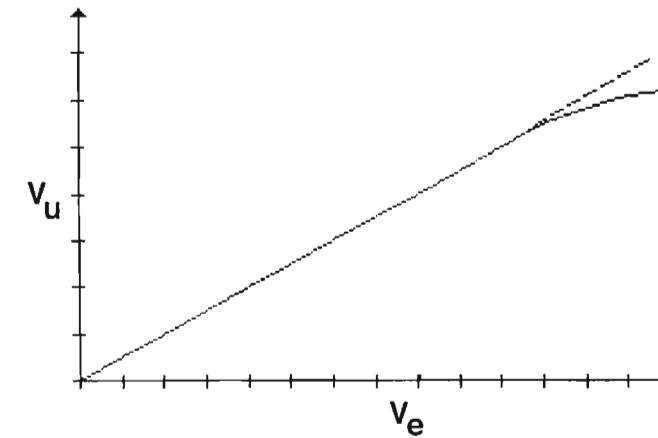



Fig. 2 — Caratteristica non lineare generica.

Questa caratteristica può essere approssimata analiticamente mediante uno sviluppo in serie di potenze:

$$[1]\quad V_u=k_1V_e+k_2V_e^2+k_3V_e^3+k_4V_e^4+k_5V_e^5+...$$

2.1 Analisi con un segnale d'entrata

Se il segnale d'entrata è una semplice sinusoide:

$$[2]\quad V_e=V\cos\omega t$$

all'uscita si ottiene:

$$[3]\quad V_u=k_1V\cos\omega t+(1/2)k_2V^2+(1/2)k_2V^2\cos2\omega t+(3/4)k_3V^3\cos\omega t+ +(1/4)k_3V^3\cos3\omega t+(3/8)k_4V^4+(1/2)k_4V^4\cos2\omega t+(1/8)k_4V^4\cos4\omega t+ +(5/8)k_5V^5\cos\omega t+(5/16)k_5V^5+\cos3\omega t+(1/16)k_5V^5\cos5\omega t+$$

avendo arrestato lo sviluppo in serie al termine di quinto ordine.

Si osserva dalla [3] che il segnale di uscita è costituito da numerose componenti, che sono nell'ordine:

- il segnale d'entrata moltiplicato per il fattore k_1, che rappresenta l'amplificazione (se maggiore di uno) o l'attenuazione (se minore di uno) del dispositivo o sistema in esame;
- due componenti continue (dipendenti dai coefficienti k_2 e k_4);
- sei componenti armoniche del segnale d'entrata (dipendenti dai coefficienti k_2, k_3, k_4 e k_5);
- due componenti alla frequenza del segnale d'entrata (dipendenti dai coefficienti k_3 e k_5).

Queste ultime due componenti vengono anche chiamate di auto-compressione (se k_3 o k_5 è negativo) o di auto-espansione (se k_3 o k_5 è positivo).

2. Analisi con tre segnali d'entrata

Al fine di rendere più generale l'analisi del fenomeno della non linearità della caratteristica entrata-uscita, occorre introdurre all'entrata più segnali, così da mettere in evidenza non soltanto le armoniche del segnale (sinusoidale) d'entrata, ma anche i cosiddetti prodotti di intermodulazione.

Per limitare la complessità di queste analisi, si assume che all'entrata siano presenti inizialmente tre segnali:

$$[4]\quad V_e=V_i\cos\omega_it+V_j\cos\omega_jt+V_k\cos\omega_kt$$

Arrestando poi lo sviluppo in serie, espresso dalla [1], al termine di terz'ordine, si ottiene che il segnale di uscita contiene una grande quantità di prodotti costituiti da componenti lineari, di second'ordine (dipendenti da k_2) e di terz'ordine (dipendenti da k_3); in totale il segnale di uscita risulta costituito da:

- tre termini lineari:
  $$[5]\quad +k_1V_i\cos\omega_it \quad +k_1V_j\cos\omega_jt \quad +k_1V_k\cos\omega_kt$$
- tre componenti continue:
  $$[6]\quad +(1/2)k_2V_i^2 \quad +(1/2)k_2V_j^2 \quad +(1/2)k_2V_k^2$$
- sei componenti di intermodulazione di second'ordine (battimento somma e differenza):
  $$[7]\quad +k_2V_iV_j\cos(\omega_i\pm\omega_j)t \quad +k_2V_iV_k\cos(\omega_i\pm\omega_k)t \quad +k_2V_iV_k\cos(\omega_j\pm\omega_k)t$$
- tre componenti armoniche di second'ordine dei segnali d'entrata:
  $$[8]\quad +(1/2)k_2V_i^2\cos2\omega_it \quad +(1/2)k_2V_j^2\cos2\omega_jt \quad +(1/2)k_2V_k^2\cos2\omega_kt$$
- tre componenti armoniche di terz'ordine dei segnali d'entrata:
  $$[9]\quad +(1/4)k_3V_i^3\cos2\omega_it \quad +(1/4)k_3V_j^3\cos2\omega_jt \quad +(1/4)k_3V_k^3\cos2\omega_kt$$
- prodotti di intermodulazione di terz'ordine, costituiti da:

  dodici battimenti del tipo:
  $$[10]\quad +(3/4)k_3V_i^2V_j\cos(2\omega_i\pm\omega_j)t \quad +(3/4)k_3V_i^2V_k\cos(2\omega_i\pm\omega_k)t \quad +(3/4)k_3V_j^2V_k\cos(2\omega_j\pm\omega_k)t \quad +(3/4)k_3V_j^2V_i\cos(2\omega_j\pm\omega_i)t \quad +(3/4)k_3V_k^2V_i\cos(2\omega_k\pm\omega_i)t \quad +(3/4)k_3V_k^2V_j\cos(2\omega_k\pm\omega_j)t$$

  e da sei battimenti tripli del tipo:
  $$[11]\quad +(3/2)k_3V_iV_jV_k\cos(\omega_i\pm\omega\pm\omega_k)t$$
- tre componenti di auto-compressione o di auto-espansione:
  $$[12]\quad +(3/4)k_3V_i^3\cos\omega_it \quad +(3/4)k_3V_j^3\cos\omega_jt \quad +(3/4)k_3V_k^3\cos\omega_kt$$

- sei componenti di compressione o espansione incrociata:

[13] $+ (3/2)k_3V_iV_j^3\cos\omega_i t$
$+ (3/2)k_3V_iV_k^3\cos\omega_i t$
$+ (3/2)k_3V_jV_i^3\cos\omega_j t$
$+ (3/2)k_3V_jV_k^3\cos\omega_j t$
$+ (3/2)k_3V_kV_i^3\cos\omega_k t$
$+ (3/2)k_3V_kV_j^3\cos\omega_k t$

È interessante notare che i prodotti d'intermodulazione del terz'ordine di triplo battimento (11) sono di ampiezza doppia rispetto a quelli delle (10), a parità di ampiezza dei segnali applicati.

I prodotti d'intermodulazione del secondo e terzo ordine sono riportati in modo riassuntivo anche nella Tabella 1.

TABELLA 1
PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE CON TRE SEGNALI D'ENTRATA

Ordine	Ampiezze	Frequenze
Secondo	$+k_2V_iV_j$	$f_i \pm f_j$
	$+k_2V_iV_k$	$f_i \pm f_k$
	$+k_2V_jV_k$	$f_j \pm f_k$
Terzo	$+(3/4)k_3V_i^2V_j$	$2f_i \pm f_j$
	$+(3/4)k_3V_i^2V_k$	$2f_i \pm f_k$
	$+(3/4)k_3V_j^2V_k$	$2f_j \pm f_k$
	$+(3/4)k_3V_j^2V_i$	$2f_j \pm f_i$
	$+(3/4)k_3V_k^2V_i$	$2f_k \pm f_i$
	$+(3/4)k_3V_k^2V_j$	$2f_k \pm f_j$
	$+(3/2)k_3V_i\ V_jV_k$	$f_i \pm f_j \pm f_k$

2.3 ANALISI CON CINQUE SEGNALI D'ENTRATA

Se all'entrata sono presenti cinque segnali a frequenza diversa:

[14] $V_i=\sum_{i=1}^{5} V_i\cdot\cos\omega_i t$

considerando che la caratteristica non lineare sia espressa dalla (1), cioè da uno sviluppo in serie di potenze fino al quint'ordine, si ottiene in uscita un segnale in cui sono presenti oltre ai termini lineari ed alle armoniche dei segnali d'entrata anche numerosi prodotti d'intermodulazione dovuti ai battimenti fra le portanti. In particolare il segnale di uscita risulta formato da termini dipendenti da k_1, k_2, k_3, k_4 e k_5.

I termini dipendenti da k_1 sono costituiti da:

- Cinque termini lineari:

[15] $k_i=\sum_{i=1}^{5} V_i\cdot\cos\omega_i t$

I termini dipendenti da k_2 sono costituiti da:

- Cinque componenti continue:

[16] $\frac{k_2}{2}\sum_{i=1}^{5} V_i\cdot\cos\omega_i t$

- Cinque componenti armoniche a frequenza doppia:

[17] $\frac{k_2}{2}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^2\cdot\cos 2\omega_i t$

- Venti componenti di intermodulazione del secondo ordine (battimento doppio: somma e differenza):

[18] $k_2=\sum_{i=1}^{4,5} V_i\cdot\cos\omega_i t$

I termini dipendenti da k_3 sono costituiti da:

- Cinque componenti di auto-compressione o di auto-espansione:

[19] $\frac{3k_3}{4}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^3\cdot\cos\omega_i t$

- Venti componenti di compressione o espansione incrociata:

[20] $\frac{3k_3}{2}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3\cdot\cos\omega_j t$

- Cinque componenti armoniche (terzo ordine) dei segnali di entrata:

[21] $\frac{k_3}{4}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^3\cdot\cos 3\omega_i t$

- Quaranta prodotti di intermodulazione a due segnali:

[22] $\frac{3k_3}{4}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^2V_j\cdot\cos(2\omega_i)t$

- Quaranta prodotti d'intermodulazione a tre segnali (battimenti tripli):

[23] $\frac{3k_3}{2}\cdot\sum_{i=1,j=1,k=j+1}^{3,4,5} V_iV_jV_k\cdot\cos(\omega_i\pm\omega_j\pm\omega_k)t$

I termini dipendenti da k_4 sono costituiti da:

- Quindici componenti continue, delle quali:
— cinque del tipo:

[24] $\frac{3k_3}{8}\sum_{i=1}^{5} V_i^4$

— dieci del tipo:

[25] $\frac{3k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j=i+1}^{4,5} V_i^2V_j^4$

- Cinque termini a frequenza doppia rispetto alla fondamentale:

[26] $\frac{k_4}{2}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^4\cdot\cos 2\omega_i t$

- Venti termini a frequenza doppia rispetto alla fondamentale, dipendenti dall'ampiezza di due portanti, dei quali:
— dieci del tipo:

[27] $\frac{3k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j=i+1}^{4,5} V_i^2V_j^4\cdot\cos 2\omega_i t$

— dieci del tipo:

[28] $\frac{3k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j=i+1}^{4,5} V_i^2V_j^4\cdot\cos 2\omega_j t$

- Cinque termini a frequenza quadrupla rispetto alla fondamentale:

[29] $\frac{k_4}{8}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^4\cdot\cos 4\omega_i t$

- Quaranta battimenti a due segnali che si posizionano su quelli del secondo ordine:

[30] $\frac{3k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3V_j\cdot\cos(\omega_i+\omega_j)t$

- Sessanta battimenti fra due frequenze dipendenti dall'ampiezza di tre portanti:

[31] $3k_4\cdot\sum_{i=1,j\neq i,k\neq i,k=j+1}^{5} V_i^2V_jV_k\cdot\cos(\omega_i\pm\omega_i)t$

- Quaranta prodotti d'intermodulazione a due segnali del tipo:

[32] $\frac{k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3V_j\cdot\cos(3\omega_i\pm\omega_j)t$

- Venti prodotti di intermodulazione a due segnali del tipo:

[33] $\frac{3k_4}{4}\cdot\sum_{i=1,j=i+1}^{4,5} V_i^2V_j^2\cdot\cos(2\omega_i\pm\omega_j)t$

- Centoventi prodotti d'intermodulazione a tre segnali del tipo:

[34] $\frac{3k_4}{2}\cdot\sum_{i=1,j\neq i,k\neq i,k=j+1}^{5} V_i^2V_jV_k\cdot\cos(2\omega_i\pm\omega_j\pm\omega_k)t$

- Quaranta prodotti d'intermodulazione a quattro segnali (battimenti quadrupli):

[35] $3k_4\cdot\sum_{i=1,j=i,k=j+1,z=k+1}^{2,3,4,5} V_iV_jV_kV_z\cdot\cos(\omega_i\pm\omega_j\pm\omega_k\pm\omega_l)t$

I termini dipendenti da k_5 sono costituiti da:

- Cinque componenti alle frequenze fondamentali:

[36] $\frac{5k_5}{8}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^5\cdot\cos\omega_i t$

- Settanta componenti di compressione o espansione incrociata alle frequenze fondamentali, delle quali:
— venti del tipo:

[37] $\frac{15k_5}{8}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^4V_j\cdot\cos\omega_j t$

— venti del tipo:

[38] $\frac{15k_5}{8}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3V_j^2\cdot\cos\omega_j t$

— trenta del tipo:

[39] $\frac{15k_5}{2}\cdot\sum_{i=1,j=i+1,k\neq i,j}^{5} V_i^2V_j^2V_k\cdot\cos\omega_k t$

- Venticinque componenti di terza armonica, delle quali:
— venti del tipo:

[40] $\frac{5k_5}{4}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3V_j^2\cdot\cos 3\omega_i t$

— cinque del tipo:

[41] $\frac{5k_5}{16}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^5\cdot\cos 3\omega_i t$

- Cinque componenti di quinta armonica:

[42] $\frac{k_5}{16}\cdot\sum_{i=1}^{5} V_i^5\cdot\cos 5\omega_i t$

- Ottanta prodotti d'intermodulazione a due segnali, che si posizionano su quelli del terzo ordine, dei quali:

— quaranta del tipo:

[43] $\frac{5k_5}{4}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^4V_j\cdot\cos(2\omega_i\pm\omega_j)t$

— quaranta del tipo:

[44] $\frac{15k_5}{8}\cdot\sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3V_j^2\cdot\cos(2\omega_i\pm\omega_j)t$

- Centoventi prodotti d'intermodulazione fra due frequenze che cadono su quelli del terzo ordine e che dipendono dall'ampiezza di tre portanti, dei quali:

— sessanta del tipo:

$$[45] \quad \frac{15k_5}{4} \cdot \sum_{i=1,j=1+1,k\neq i,j}^{5} V_i^2 V_j^2 V_k \cdot \cos(2\omega_i \pm \omega_k)t$$

— sessanta del tipo:

$$[46] \quad \frac{15k_5}{4} \cdot \sum_{j=1,i=j+1,k\neq i,j}^{5} V_i^2 V_j^2 V_k \cdot \cos(2\omega_j \pm \omega_k)t$$

- Centoventi prodotti d'intermodulazione a tre segnali (battimenti tripli) che si posizionano su quelli del terzo ordine:

$$[47] \quad \frac{15k_5}{4} \cdot \sum_{i=1,j\neq i,k\neq i,\ k=j+1}^{5} V_i^3 V_j V_k \cdot \cos(\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k)t$$

- Ottanta prodotti di intermodulazione a tre segnali (battimenti tripli), come i precedenti, la cui ampiezza dipende da quattro portanti:

$$[48] \quad \frac{15k_5}{4} \cdot \sum_{i=1,j\neq i,k\neq i,k=j+1;z=k+1}^{5} V_i^2 V_j V_k V_z \cdot \cos(\omega_j \pm \omega_k \pm \omega_z)t$$

- Quaranta prodotti d'intermodulazione a due segnali del tipo:

$$[49] \quad \frac{5k_5}{16} \cdot \sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^4 V_j \cdot \cos(4\omega_i \pm \omega_j)t$$

- Quaranta prodotti d'intermodulazione a due segnali del tipo:

$$[50] \quad \frac{5k_5}{8} \cdot \sum_{i=1,j\neq i}^{5} V_i^3 V_j^2 \cdot \cos(3\omega_i \pm \omega_j)t$$

- Duecentoquaranta prodotti d'intermodulazione a tre segnali, dei quali:

— centoventi del tipo:

$$[51] \quad \frac{15k_5}{8} \cdot \sum_{i=1,j=i+1,k\neq i,j}^{5} V_i^2 V_j^2 V_k \cdot \cos(2\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k)t$$

— centoventi del tipo:

$$[52] \quad \frac{5k_5}{4} \cdot \sum_{i=1,j\neq 1,k\neq i,k=j+1}^{5} V_i^3 V_j V_k \cdot \cos(3\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k)t$$

- Centosessanta prodotti d'intermodulazione a quattro segnali:

$$[53] \quad \frac{15k_5}{4} \cdot \sum_{i=1,j\neq i,k=j+1,z\neq i,z=k+1}^{5} V_i^2 V_j V_k V_z \cdot \cos(2\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k \pm \omega_z)t$$

- Sedici prodotti d'intermodulazione a cinque segnali (battimenti quintupli):

$$[54] \quad \frac{15k_5}{2} \cdot V_i V_j V_k V_z V_w \cdot \cos(\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k \pm \omega_z \pm \omega_w)t$$

I prodotti d'intermodulazione del secondo, terzo, quarto e quint'ordine sono riportati in modo riassuntivo nella Tabella 2.

In particolare, si può notare che, a parità di ampiezza dei segnali applicati in entrata:

TABELLA 2
PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE CON CINQUE SEGNALI D'ENTRATA

Ordine	Ampiezze	Frequenze
secondo	$k_2 V_i V_j$	$f_i \pm f_j$
terzo	$(3/4)k_3 V_i^2 V_j$	$2f_i \pm f_j$
	$(3/2)k_3 V_i V_j V_k$	$f_i \pm f_j \pm f_k$
quarto	$(3/2)k_4 V_i^3 V_j$	$f_i \pm f_j$
	$3k_4 V_i^2 V_j V_k$	$f_j \pm f_k$
	$(1/2)k_4 V_i^3 V_j$	$3f_i \pm f_j$
	$(3/4)k_4 V_i^2 V_j^2$	$2f_i \pm 2f_j$
	$(3/2)k_4 V_i^2 V_j V_k$	$2f_i \pm f_j \pm f_k$
	$3k_4 V_i V_j V_k V_z$	$f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z$
quinto	$(5/4)k_5 V_i^4 V_j$	$2f_i \pm f_j$
	$(15/8)k_5 V_i^3 V_i^2$	$2f_i \pm f_j$
	$(15/4)k_5 V_i^2 V_i^2 V_k$	$2f_i \pm f_k$
	$(15/4)k_5 V_i^2 V_j^2 V_k$	$2f_j \pm f_k$
	$(15/4)k_5 V_i^3 V_j V_k$	$f_i \pm f_j \pm f_k$
	$(15/2)k_5 V_i^2 V_j V_k V_z$	$f_j \pm f_k \pm f_z$
	$(5/16)k_5 V_i^4 V_j$	$4f_i \pm f_j$
	$(5/8)k_5 V_i^3 V_j^2$	$3f_i \pm 2f_j$
	$(15/8)k_5 V_i^2 V_j^2 V_k$	$2f_i \pm 2f_j \pm f_k$
	$(5/4)k_5 V_i^3 V_j V_k$	$3f_i \pm f_j \pm f_k$
	$(15/4)k_5 V_i^2 V_j V_k V_z$	$2f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z$
	$(15/2)k_5 V_i V_j V_k V_z V_w$	$f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z \pm f_w$

— il livello massimo dei prodotti d'intermodulazione del terz'ordine è quello a 3 segnali, mentre il livello massimo dei prodotti d'intermodulazione del quint'ordine è relativo a quello a 5 segnali,

— i livelli dei prodotti di intermodulazione del terz'ordine a 3 ed a 2 segnali stanno tra loro in un rapporto pari a due, mentre i livelli dei prodotti d'intermodulazione del quint'ordine a 5 ed a 2 segnali (di livello massimo) stanno in un rapporto pari a dodici.

Nella Tabella 3 sono riportate le frequenze e le ampiezze dei soli prodotti di intermodulazione del terzo e quinto ordine; in particolare, nella quarta colonna sono riportate le ampiezze relative dei prodotti d'intermodulazione suddetti avendo preso come riferimento i battimenti a tre segnali (battimenti tripli) per il terzo ordine ed a cinque segnali (battimenti quintupli) per il quinto ordine; si è fatta l'ipotesi che i segnali all'entrata abbiano tutti la stessa ampiezza.

TABELLA 3
PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL TERZO E DEL QUINTO ORDINE; LE AMPIEZZE RELATIVE SONO RIFERITE RISPETTIVAMENTE FREQUENZE AI BATTIMENTI A TRE ED A CINQUE FREQUENZE

ordine	frequenze	ampiezze	ampiezze relative
TERZO	$2f_i \pm f_j$	$\frac{3k_3}{4} V_i^2 V_j$	$\frac{1}{2}$
TERZO	$f_i \pm f_j \pm f_k$	$\frac{3k_3}{2} V_i V_j V_k$	
QUINTO	$3f_i \pm 2f_j$	$\frac{5k_5}{8} V_i^3 V_j^2$	$\frac{1}{12}$
QUINTO	$4f_i \pm f_j$	$\frac{5k_5}{16} V_i^4 V_j$	$\frac{1}{24}$
QUINTO	$2f_i \pm 2f_j \pm f_k$	$\frac{15k_5}{8} V_i^2 V_j^2 V_k$	$\frac{1}{4}$
QUINTO	$3f_i \pm f_j \pm f_k$	$\frac{5k_5}{4} V_i^3 V_j V_k$	$\frac{1}{6}$
QUINTO	$2f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z$	$\frac{15k_5}{4} V_i^2 V_j V_k V_z$	$\frac{1}{2}$
QUINTO	$f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z \pm f_w$	$\frac{15k_5}{2} \cdot V_i V_j V_k V_z V_w$	

3. Valutazione della caratteristica non lineare

La valutazione della non linearità di un dispositivo qualsiasi (amplificatore, convertitore, ecc.) viene di solito espressa in termini di:

- punto d'intersezione (IP: Intercept Point), definito in termini di livello del segnale di uscita;
- livello d'uscita con compressione di 1 dB ($P_u(1dB)$);
- rapporto segnale/intermodulazione (C/I: Carrier to Intermodulation ratio), misurato con un metodo di misura noto e prefissato, relativo ai prodotti del secondo o del terz'ordine;
- modulazione incrociata.

Per definire i vari metodi di valutazione è opportuno esaminare, insieme con la caratteristica del dispositivo non lineare, anche l'andamento dei prodotti d'intermodulazione al variare del livello dei segnali applicati. Si osserva, tenendo conto delle relazioni precedenti, che i prodotti del secondo ordine crescono in modo proporzionale al quadrato dell'ampiezza dei segnali d'entrata, cioè crescono di 2 dB per ogni dB di incremento dei segnali d'entrata; pertanto, il rapporto C/I_2 decresce di 1 dB per ogni dB di incremento dei segnali d'entrata. Invece, i prodotti di intermodulazione del terz'ordine hanno una crescita più rapida, in funzione del livello dei segnali d'entrata. Essi crescono di 3 dB per ogni dB di incremento dei segnali di entrata; pertanto, il rapporto C/I_3 decresce di 2 dB per ogni dB di incremento dei segnali di entrata. Se intervengono anche i prodotti d'intermodulazione di ordine superiore (quarto e quinto), le suddette leggi non sono più rispettate e la degradazione di C/I è ancora più rapida (4 dB per ogni dB e 5 dB per ogni dB, rispettivamente) al crescere del livello del segnale d'uscita.

3.1 PUNTO D'INTERSEZIONE

Si definisce punto d'intersezione (IP: Intercept Point), il punto ideale, definito in termini di livello di segnale d'entrata o di uscita, in cui le componenti lineari eguagliano i prodotti di intermodulazione. Il diagramma della caratteristica entrata-uscita viene di solito tracciato usando scale logaritmiche per i segnali d'entrata e d'uscita, che possono essere espressi in termini di tensione (dB(V), dB(mV), dB(μV)), oppure anche in termini di potenza (dB(mW)). La figura 3 riporta un esempio di diagramma con punto d'intersezione IP_3 dei prodotti d'intermodulazione del terzo ordine.

Se è noto il rapporto C/I_3 in dB (ad esempio tramite la misura dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine I_3) per un dato livello P_u(dB(mW)) del segnale d'uscita V_u, si può calcolare il valore del punto d' intersezione (IP_3) in dB(mW) dalla relazione:

$$[55] \quad IP_3 = P_u + \frac{(C/I_3)_{dB}}{2} \quad [dB(mW)]$$

Ad esempio (figura 3), se con P_u= 0 dB(mW) si ha $(C/I_3)_{dB}$ = 40 dB, si ottiene: IP_3 = + 20 dB(mW), in termini di segnale d'uscita.

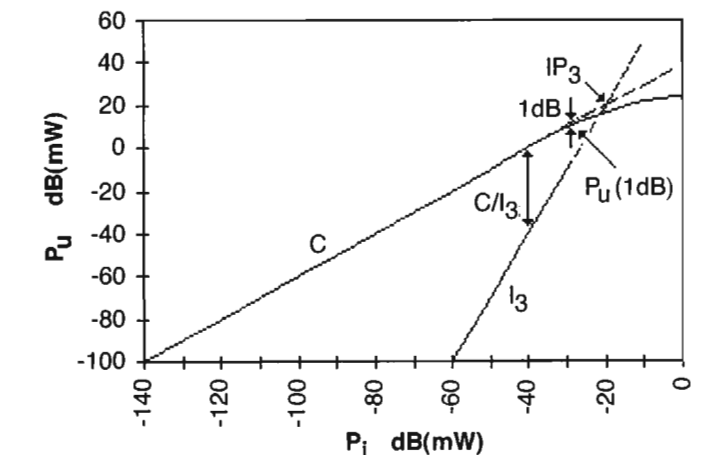



Fig. 3 — Esempio di caratteristica non lineare, con punto d'intersezione (IP_3) e di compressione a 1 dB (P_u(1dB)).

In modo analogo si può calcolare il valore del punto d'intersezione in termini di livello del segnale d'entrata, introducendo al posto di P_u il valore di P_i, relativo al rapporto C/I_3.

È anche possibile esprimere il valore di IP in termini di livello di tensione d'entrata o di uscita, come si farà in seguito.

3.2 Compressione a 1 dB

In figura 3 è indicato il punto della caratteristica entrata-uscita che si discosta di 1 dB dall'andamento lineare. Tale scostamento, per ragioni fisiche, è generalmente nel senso di riduzione, cioè di compressione della dinamica del segnale di uscita. In circuiti particolari tale scostamento può anche essere di espansione.

Interessa calcolare la differenza (in dB) fra il livello d'entrata relativo al punto di intersezione e quello relativo al punto di compressione a 1 dB.

In genere il punto di compressione a 1 dB viene misurato applicando un solo segnale di entrata al dispositivo non lineare in esame. In tal caso il segnale d'uscita risulta espresso dalla (3), che viene qui ripresa, approssimandola al terzo ordine e tenendo conto soltanto dei termini in ωt (occorre ricordare che generalmente il coefficiente K_3 è negativo):

[56] $V_u = k_1 V[1+(3/4)k_3 V^2/k_1]\cos\omega t + \ldots$

La compressione a 1 dB si ottiene quando:

[57] $[1+(3/4)k_3 V^2/k_1] = a = 0{,}89125 \qquad (-1\ \text{dB})$

da cui:

[58] $V(1\text{dB}) = \sqrt{\dfrac{4}{3}\,\dfrac{(1-a)}{k_3/k_1}}$

Il punto d'intersezione $V(IP_3)$, in termini di tensione d'entrata, relativo ai prodotti di intermodulazione del terzo ordine, può essere ricavato considerando i prodotti del tipo riportato nelle (10), cioè con due segnali d'entrata, oppure del tipo (11) (battimento triplo), cioè con tre segnali d'entrata.

Nel primo caso (due segnali o toni all'entrata), $V(IP_{3(2t)})$ è definito dalla condizione:

[59] $k_1 V_i = (3/4)k_3 V_i^2 V_j$

Assumendo $V_i=V_j=V$, dalle (58) e (59) si ottiene:

[60] $\dfrac{V(IP_{3(2t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{1/(1-a)} = 3{,}03 \quad (9{,}64\ \text{dB})$

Nel secondo caso (tre segnali o toni all'entrata), $V(IP_{3(3t)})$ è definito dalla condizione:

[61] $k_1 V_i = (3/2)k_3 V_i V_j V_k$

Assumendo $V_i=V_j=V_k=V$, dalle (58) e (61) si ottiene:

[62] $\dfrac{V(IP_{3(3t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{1/2(1-a)} = 2{,}14 \quad (6{,}63\ \text{dB})$

Tale risultato è coerente col fatto che i prodotti d'intermodulazione a tre segnali (battimenti tripli) hanno ampiezza doppia (+6dB) rispetto a quelli a due segnali, cosicché il punto d'intersezione dei primi avviene ad un livello 3 dB inferiore rispetto ai secondi.

I calcoli relativi a IP_3 possono essere meglio approssimati, se si tiene conto anche dei prodotti d'intermodulazione del quinto ordine che cadono su quelli del terz'ordine. Pertanto, considerando anche l'effetto dei prodotti d'intermodulazione del quinto ordine, il segnale d'uscita, tenendo conto solo dei termini in ωt, risulta essere:

[63] $V_u = k_1 V[1+(3/4)k_3 V^2/k_1 + (5/8)k_5 V^4/k_1]\cos\omega t + \ldots$

La compressione a 1 dB si ottiene quando:

[64] $[1+(3/4)k_3 V^2/k_1 + (5/8)k_5 V^4/k_1] = a = 0{,}89125 \quad (-1\ \text{dB})$

Risolvendo l'equazione rispetto a V, si ottiene una relazione che dipende sia da k_3/k_5, sia da k_1/k_5:

[65] $V_{(1dB)} = \sqrt{-\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5}\right) - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}(1-a)}}$

Il punto d'intersezione $V(IP_3)$, in termini di tensione d'entrata, relativo ai prodotti di intermodulazione del terzo e quinto ordine, può essere ricavato considerando, rispetto alle valutazioni precedenti, anche i prodotti del tipo riportato nelle (43) e (44), con due segnali d'entrata, oppure del tipo (47), con tre segnali d'entrata.

Nel primo caso (due segnali o toni all'entrata), $V(IP_{3(2t)})$ è definito dalla condizione:

[66] $k_1 V_i = (3/4)k_3 V_i^2 V_j + (5/4)k_5 V_i^4 V_j + (15/8)k_5 V_i^3 V_j^2$

Assumendo $V_i=V_j=V$, dalle (65) e (66) si ottiene:

[67] $$\frac{V(IP_{3(2t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{-\dfrac{3}{25}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{25}\dfrac{k_3}{k_5}\right) + \dfrac{8}{25}\dfrac{k_1}{k_5}}}{-\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5}\right) - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}(1-a)}}}$$

Nell'ipotesi che la caratteristica non lineare in esame si possa approssimare con lo sviluppo in serie della funzione seno, troncato al quinto ordine, si può determinare il valore dei rapporti k_3/k_5 e k_1/k_5.

In tal caso si ricava: $k_1/k_5=120$, $k_3/k_5=120k_3/k_1$ e $k_3/k_1=-1/6$, per cui dalla (67) si ottiene:

[68] $$\frac{V(IP_{3(2t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{-\dfrac{3}{25}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{25}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1}\right) + \dfrac{8}{25}\cdot 120}}{-\dfrac{3}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1}\right) - \dfrac{8}{5}\cdot 120\cdot(1-a)}}} = 3{,}163 \quad (10{,}0\ \text{dB})$$

Si osserva che al numeratore è stata considerata la sola radice positiva perché il risultato fosse reale ed al denominatore la sola radice negativa, perché era stata ipotizzata una caratteristica non lineare con compressione.

Nel secondo caso (tre segnali o toni all'entrata), $V(IP_{3(3t)})$ è definito dalla condizione:

[69] $k_1 V_i = (3/2)k_3 V_i V_j V_k + (15/4)k_5 V_i^3 V_j V_k$

Assumendo $V_i=V_j=V_k=V$, dalle (65) e (69) si ottiene:

[70] $$\frac{VIP_{3(3t)}}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{-\dfrac{1}{5}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{1}{5}\dfrac{k_3}{k_5}\right)^2 + \dfrac{4}{15}\dfrac{k_1}{k_5}}}{-\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5}\right)^2 - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}(1-a)}}}$$

Ancora nell'ipotesi di caratteristica non lineare con andamento sinusoidale, si ricava:

[71] $$\frac{V(IP_{3(3t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{-\dfrac{1}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1} \pm \sqrt{\left(\dfrac{1}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1}\right)^2 + \dfrac{4}{15}\cdot 120}}{-\dfrac{3}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\cdot 120\dfrac{k_3}{k_1}\right)^2 - \dfrac{8}{5}\cdot 120\cdot(1-a)}}} = 3{,}477 \quad (10{,}82\ \text{dB})$$

Confrontando i risultati appena ottenuti con quelli ricavati tenendo conto soltanto dell'intermodulazione del terzo ordine, si nota che, nel caso di $V(IP_3)$ valutato con due segnali all'entrata, non c'è quasi variazione (+ 0,36 dB), mentre nel caso di $V(IP_3)$ valutato con tre segnali all'entrata, c'è una variazione di + 4,19 dB.

Analogamente $V(IP_5)$, relativo ai prodotti di intermodulazione del quinto ordine, può essere ricavato considerando i prodotti del tipo riportato nelle (49) e (50), con due segnali d'entrata, oppure del tipo (51) e (52), con tre segnali d'entrata.

Nel primo caso (due segnali o toni all'entrata), $V(IP_{5(2t)})$ è definito dalla condizione:

[72] $k_1 V_i = (5/16)k_5 V_i^4 V_j + (5/8)k_5 V_i^3 V_j^2$

Assumendo $V_i=V_j=V$, dalle (65) e (72) si ottiene:

[73] $$\frac{V(IP_{5(2t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{\sqrt{\dfrac{16}{15}\dfrac{k_1}{k_5}}}{-\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5} \pm \sqrt{\left(\dfrac{3}{5}\dfrac{k_3}{k_5}\right)^2 - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}(1-a)}}}$$

Nell'ipotesi di caratteristica non lineare con andamento sinusoidale, essendo: $k_3/k_5=-(1/6)k_1/k_5=+120$, si ricava:

[74] $$\frac{V(IP_{5(2t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{\sqrt{\dfrac{16}{15}\dfrac{k_1}{k_5}}}{-\dfrac{3}{5}\cdot\left(-\dfrac{1}{6}\right)\dfrac{k_1}{k_5} \pm \sqrt{\dfrac{3}{5}\cdot\left(-\dfrac{1}{6}\right)\dfrac{k_1}{k_5}\Big)^2 - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}\cdot(1-a)}}} = 3{,}54 \quad (10{,}97\ \text{dB})$$

Nel secondo caso (tre segnali o toni all'entrata), $V(IP_{5(3t)})$ è definito dalla condizione:

[75] $k_1 V_i = (5/4)k_5 V_i^3 V_j V_k + (15/8)k_5 V_i^2 V_j^2 V_k$

Con la medesima ipotesi, assumendo $V_i=V_j=V_k=V$, dalle (65) e (75) si ottiene:

[76] $$\frac{V(IP_{5(3t)})}{V_{(1dB)}} = \sqrt{\frac{\sqrt{\dfrac{8}{25}\dfrac{k_1}{k_5}}}{-\dfrac{3}{5}\cdot\left(-\dfrac{1}{6}\right)\dfrac{k_1}{k_5} \pm \sqrt{\dfrac{3}{5}\cdot\left(-\dfrac{1}{6}\right)\dfrac{k_1}{k_5}\Big)^2 - \dfrac{8}{5}\dfrac{k_1}{k_5}\cdot(1-a)}}} = 2{,}62 \quad (8{,}36\ \text{dB})$$

Tali relazioni sono molto utili per ricavare il punto d'intersezione quando è noto il punto di compressione a 1 dB, o viceversa. In tal modo si facilitano i confronti quando i dati forniti non sono uniformi.

3.3 Metodi di misura di C/I

La misura del rapporto C/I, in funzione del livello del segnale di uscita del dispositivo o sistema non lineare, può essere eseguita con appropriati metodi di misura, allo scopo di mettere in evidenza le degradazioni introdotte sui segnali d'entrata dalla presenza dei prodotti d'intermodulazione (prevalentemente del secondo e terzo ordine), causate dal comportamento non lineare del sistema.

La metodologia di misura, applicabile agli impianti che distribuiscono numerosi canali televisivi, come quelli di CATV, è costituita prevalentemente da:

- metodo di misura con due segnali (o portanti),
- metodo di misura con tre segnali (o portanti),
- metodo di misura del CTB (Composite Triple Beat),
- metodo di misura del CSO (Composite Second Order).

I primi due metodi di misura sono i più semplici da eseguire, richiedendo soltanto due o tre generatori di segnale (portanti non modulate).

Gli altri due metodi di misura richiedono invece la contemporanea presenza di numerose portanti, in pratica tutte quelle per le quali l'impianto di CATV è stato progettato.

Pertanto l'applicazione di tali metodi di misura risulta molto onerosa e richiede la disponibilità di particolari generatori di segnale in grado di produrre tutte le portanti previste nell'impianto di CATV.

3.3.1 *Metodo di misura con due segnali*

Il metodo di misura prevede di applicare all'entrata del dispositivo o sistema non lineare due segnali (o portanti non modulate) di uguale livello.

Le frequenze delle due portanti, distanti circa 2-3 MHz, vengono poste in punti diversi della banda interessata (50 MHz - 860 MHz), al fine di determinare il comportamento del dispositivo o sistema non lineare nei vari punti della banda.

L'uscita del dispositivo o sistema non lineare viene esaminata mediante un analizzatore di spettro, individuando i segnali sia alla frequenza dei segnali d'entrata, sia alle frequenze dei prevedibili prodotti di intermodulazione di secondo e terzo ordine.

Fig. 4 — Spettro dei segnali di uscita da un dispositivo o sistema non lineare, quando sono applicati due segnali. Sono presenti, oltre ai segnali con frequenza uguale a quelli d'entrata, anche i prodotti di intermodulazione del secondo e del terzo ordine.

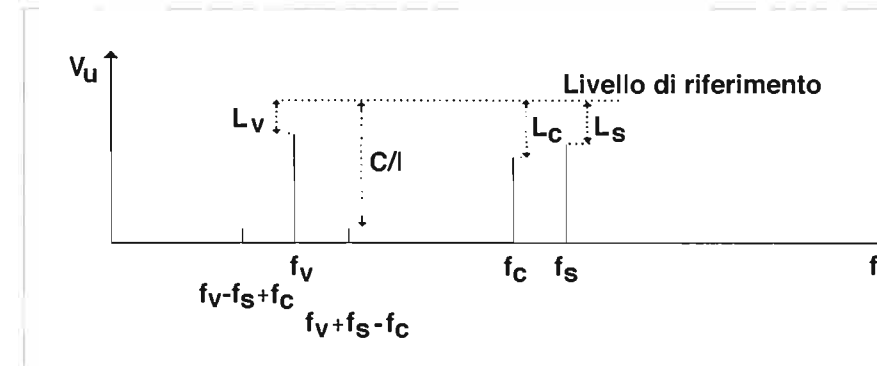



Fig. 5 — Spettro dei segnali in uscita da un dispositivo o sistema non lineare, quando sono applicati tre segnali. Sono presenti, oltre ai segnali con frequenza uguale a quelli d'entrata, anche i prodotti di intermodulazione del secondo e del terzo ordine.

Lo spettro dei segnali di uscita è riportato in figura 4. Si misurano i livelli dei vari segnali e si ricava il rapporto C/I per ciascun prodotto d'intermodulazione.

3.3.2 *Metodi di misura con tre segnali*

a) Metodo di misura per sistemi a larga banda

Il metodo di misura prevede di applicare all'entrata del dispositivo o sistema non lineare tre segnali (o portanti non modulate) dei quali due di uguale livello ed uno con livello superiore di 6 dB (ampiezza doppia). La frequenza dei tre segnali viene generalmente scelta in modo che la frequenza f_a (figura 5) coincida con la portante video di un canale televisivo e le altre due frequenze f_b e f_c coincidano rispettivamente con la portante video del canale adiacente (f_b) e con una frequenza (f_c) ad esempio 2MHz superiore (f_c=f_b+ 2 MHz)*.

Successivamente, si esamina l'uscita mediante un analizzatore di spettro, individuando i segnali sia alla frequenza dei segnali d'entrata, sia alle frequenze dei prevedibili prodotti di intermodulazione di secondo e terzo ordine.

Lo spettro dei segnali di uscita è riportato in figura 5. Si misurano i livelli dei vari segnali e si ricava il rapporto C/I per ciascun prodotto d'intermodulazione.

b) Metodo di misura per sistemi a banda stretta (di canale)

Il metodo di misura prevede di applicare all'entrata del dispositivo o sistema non lineare, spesso costituito da amplificatori di canale o convertitori di canale, tre segnali (o portanti non modulate) comprese nell'intervallo di frequenza di un canale con livelli tali da simulare opportunamente le portanti video (f_v), suono (f_s) e colore (f_c) (rappresentate in figura 6).

I livelli relativi delle tre portanti rispetto al livello di riferimento sono stati scelti per ottenere le condizioni più critiche con cui rilevare i prodotti d'intermodulazione del terzo ordine (triplo battimento) che cadono a sinistra (f_v–f_s+f_c) e a destra (f_v+f_s–f_c) della portante video.

* Il metodo di misura descritto viene spesso indicato come DIN 45004B.

Fig. 6 — Spettro dei segnali di uscita da un dispositivo o sistema non lineare, quando sono applicati tre segnali entro la banda di un canale televisivo. Sono presenti, oltre ai segnali con frequenza uguale a quelli d'entrata, anche i prodotti d'intermodulazione del terzo ordine (triplo battimento) che cadono entro il canale.

La misura consiste nell'applicare al dispositivo o sistema non lineare i tre segnali in modo da ottenere che essi abbiano i livelli relativi prefissati rispetto al livello di riferimento; successivamente occorre individuare i due prodotti d'intermodulazione suddetti (figura 6), misurarne il livello, ancora rispetto al livello di riferimento, e ricavare quindi il rapporto C/I per ciascun prodotto di intermodulazione.

3.3.3 *Metodo di misura del CTB*

Il metodo di misura del CTB (Composite Triple Beat) prevede che all'entrata del dispositivo o sistema non lineare siano applicati tanti segnali (o portanti non modulate) quanti sono quelli previsti per il funzionamento in esercizio. Le loro frequenze sono comprese nelle bande VHF o UHF, in genere fra 50 MHz e 860 MHz.

Successivamente si esamina l'uscita mediante un analizzatore di spettro e si misura il livello della portante rispetto alla quale si desidera misurare il CTB. Poi si elimina detta portante dai segnali di entrata e si misura il livello dei prodotti d'intermodulazione del terzo ordine, che sono presenti a causa dei battimenti fra le altre portanti ancora presenti.

La soppressione di un solo segnale (o portante) non altera in modo sostanziale il numero dei prodotti di intermodulazione (del terzo ordine e principalmente di triplo battimento) che cadono entro il canale interessato e che in genere tendono ad addensarsi intorno alla portante stessa.

Lo spettro rilevabile in uscita mediante tale metodo di misura è riportato in figura 7.

In figura 7a è presente la portante del canale desiderato, mentre in figura 7b tale portante è stata soppressa e sono presenti soltanto i prodotti di intermodulazione dovuti a tutti gli altri canali.

Il risultato della misura è espresso dal dislivello fra la portante del canale desiderato ed il livello che si ottiene quando tale portante viene soppressa.

Poiché la misura è affetta dalle caratteristiche di selettività dell'analizzatore di spettro, il metodo di misura prevede di utilizzare le seguenti condizioni di funzionamento:

Banda spazzolata: 0,5 MHz
Banda passante del filtro IF: 30 kHz
Banda video: 10 Hz
Velocità di spazzolamento: 500 ms/div

3.3.4 *Metodo di misura del CSO*

Il metodo di misura del CSO (Composite Second

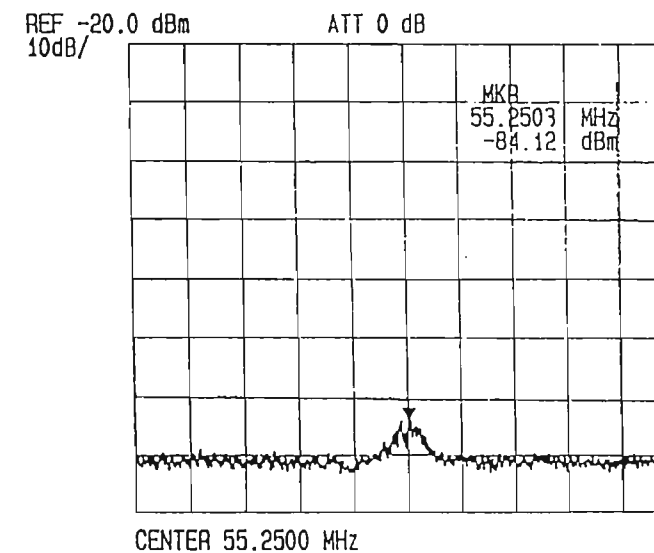
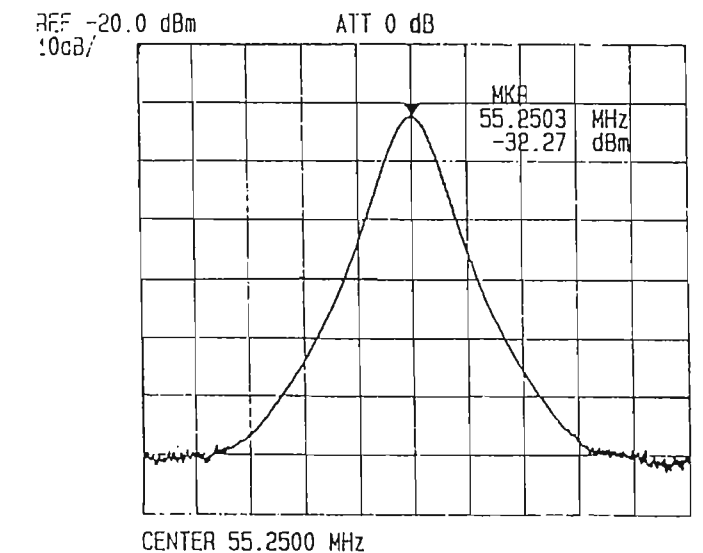



Fig. 7 — a) Portante del canale desiderato
b) Spettro dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine in uscita dal dispositivo o sistema non lineare, quando viene soppressa la portante del canale desiderato.

Order), cioè dei battimenti del secondo ordine dovuti ai segnali presenti all'entrata del dispositivo o sistema non lineare, ha interesse soltanto se la banda trattata è maggiore di una ottava, altrimenti tali battimenti cadono fuori dalla banda stessa e non ha interesse la loro misura.

Il metodo di misura prevede che siano applicati tanti segnali (o portanti non modulate) quanti sono quelli previsti per il funzionamento in esercizio. Le loro frequenze sono comprese nelle bande VHF o UHF. Successivamente si esamina l'uscita mediante un analizzatore di spettro e si misura il livello del canale desiderato; poi, sopprimendo tale canale (o portante), si misura il livello dei prodotti di intermodulazione del secondo ordine presenti, distinguendoli da quelli del terzo ordine.

Si osserva che, nel caso di canalizzazione con passo costante, i prodotti di intermodulazione del secondo ordine dovuti al battimento differenza (tipo f_a-f_b) tendono a raggrupparsi:

- intorno ad un valore di frequenza pari al passo di canalizzazione (ad esempio intorno a 6 MHz -sistema televisivo americano- oppure 7 o 8 MHz -sistemi televisivi europei-); tali battimenti sono però di scarso interesse, essendo dette frequenze al di fuori della banda di distribuzione dei segnali;
- intorno a frequenze pari a multipli del passo di canalizzazione; tale condizione consente di individuare i prodotti d'intermodulazione del secondo ordine rispetto a quelli del terzo ordine, in particolare se le frequenze delle portanti non sono multiple del passo di canalizzazione.

Invece i prodotti di intermodulazione del secondo ordine dovuti al battimento somma (tipo $f_a + f_b$) tendono a raggrupparsi attorno a frequenze con distanza reciproca pari al passo di canalizzazione, condizione che consente di individuarli rispetto a quelli del terzo ordine. Tali frequenze sono calcolabili aggiungendo al doppio della frequenza del canale inferiore i multipli del passo di canalizzazione.

Lo spettro rilevabile in uscita mediante il suddetto metodo di misura intorno ad una frequenza multipla del passo di canalizzazione è riportato in figura 8.

Il risultato della misura viene espresso dal dislivello fra la portante del canale desiderato ed il livello dei prodotti di intermodulazione del secondo ordine.

Poiché la misura è condizionata dalle caratteristiche di selettività dell'analizzatore di spettro, il metodo di misura prevede di utilizzare le seguenti condizioni di funzionamento:

Banda spazzolata:	0,5 MHz
Banda passante del filtro IF:	30 kHz
Banda video:	10 Hz
Velocità di spazzolamento:	500 ms/div

3.4 MODULAZIONE INCROCIATA

3.4.1 *Esame del fenomeno*

La modulazione incrociata è il fenomeno in base al quale la portante relativa al canale desiderato risulta modulata con il segnale che modula la portante di un canale indesiderato.

Essa è dovuta alla non linearità del terzo ordine della

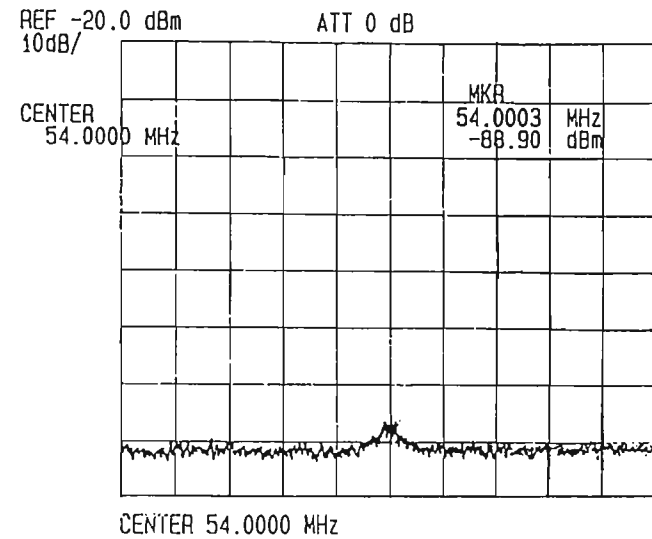



Fig. 8 — Spettro dei prodotti di intermodulazione del secondo ordine, intorno ad una frequenza multipla del passo dei canali.

caratteristica di trasferimento dei dispositivi attivi, la quale genera delle componenti di battimento triplo fra la portante desiderata, la portante indesiderata e le righe laterali (o di modulazione) di quest'ultima.

Ad esempio, considerando un solo canale interferente modulato sinusoidalmente, si osserva (figura 9) che ai lati della portante desiderata (f_a), originariamente non modulata, compaiono delle righe che componendosi fra di loro e con la portante stessa danno origine alla modulazione indesiderata. Se l'elemento non lineare è puramente resistivo si ottiene una modulazione di ampiezza pura, altrimenti si ha una modulazione mista d'ampiezza e di fase.

Nel primo caso l'inviluppo di modulazione risulta avere la massima ampiezza ed è affetto da una distorsione di seconda armonica a causa della presenza delle righe laterali a frequenza $f_a \pm 2F$, come indicato in figura 9. Queste, tuttavia, non alterano l'escursione (picco-picco) dell'inviluppo di modulazione (anche se lo distorcono), che è pari alla somma delle ampiezze delle righe laterali di frequenza $f_a \pm F$.

Pertanto, la profondità media di modulazione m_A della portante di ampiezza A risulta (Fig. 9):

$$[77] \quad m_A = \frac{2 \cdot \frac{3}{2} k_3 A B^2 m_B}{k_1 A} = 3 \frac{k_3}{k_1} B^2 m_B$$

La modulazione incrociata si misura valutando la profondità di modulazione introdotta su una portante non modulata dalla presenza di una portante modulata, con profondità di modulazione del 100% oppure, se modulata con profondità di modulazione inferiore, rapportando il valore misurato al valore di profondità di modulazione utilizzato dalla portante modulata.

Quindi, la modulazione incrociata XMOD può essere espressa, in decibel, dalla relazione:

$$[78] \quad XMOD = 20 \log \frac{m_A}{m_B} = 20 \log 3 \frac{k_3}{k_1} B^2$$

Generazione dei prodotti di intermodulazione (battimenti tripli):
- f_a-2F dovuto a: $f_a-(f_b+F)+(f_b-F)$
- f_a+F dovuto a: $f_a-(f_b+F)+(f_b-F)$
- f_a-F dovuto a: $f_a+f_b-(f_b+F)$ insieme con $f_a-f_b+(f_b-F)$
- f_a+F dovuto a: $f_a+f_b-(f_b+F)$ insieme con $f_a-f_b+(f_b-F)$

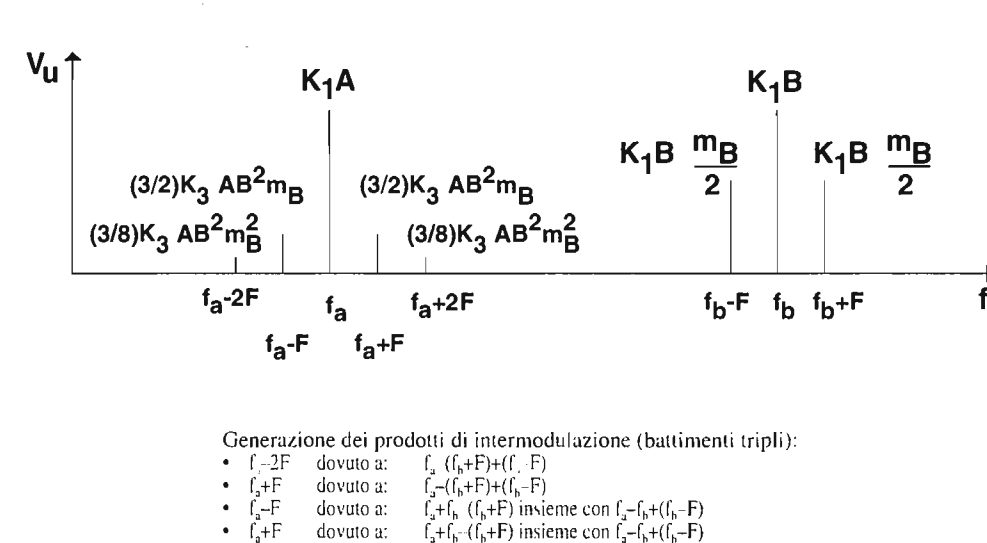



Fig. 9 — Interpretazione del fenomeno della modulazione incrociata come dovuto a battimenti tripli fra i segnali d'entrata: portante non modulata alla frequenza f_a, con la portante modulata alla frequenza f_b dalla frequenza modulante F.

3.4.2 *Metodi di misura della modulazione incrociata*

a) Modulazione con segnale sinusoidale

La misura della modulazione incrociata può essere ottenuta applicando all'entrata del dispositivo o sistema non lineare due segnali, uno (con frequenza f_a) non modulato, l'altro (con frequenza f_b) modulato da un segnale sinusoidale con frequenza F.

L'uscita del dispositivo o sistema non lineare viene applicata ad un ricevitore e si esamina l'ampiezza del segnale demodulato d'ampiezza, quando il ricevitore è sintonizzato dapprima sulla frequenza f_a (ampiezza proporzionale a m_A) e poi sulla frequenza f_b (ampiezza proporzionale a m_B). Il rapporto fra le due ampiezze (espresso in dB) rappresenta il valore della modulazione incrociata (XMOD).

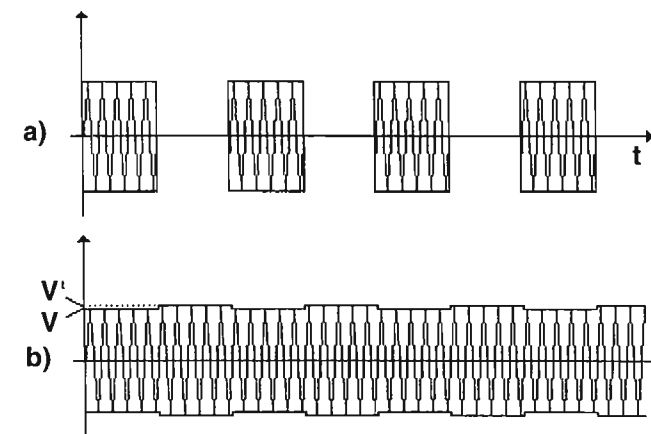



Fig. 10 — Metodo di misura delle modulazione incrociata secondo la NCTA:
a) portante interferente
b) portante interferita.

b) Modulazione con onda rettangolare (Metodo NCTA)

Il metodo NCTA (National Cable Television Association - USA) consiste nell'applicare al dispositivo o sistema non lineare le portanti televisive interferenti, modulate al 100% con un'onda rettangolare (vedi figura 10), mentre la portante interferita non viene modulata.

A causa della modulazione incrociata, la portante interferita subisce una variazione d'ampiezza (figura 10) quando sono presenti le altre portanti. Infatti, in questo caso l'ampiezza V della portante interferita (a frequenza f_a) è data dalla somma delle componenti del primo ordine (k_1A), di quelle di autocompressione o autoespansione ($(3/4)K_3A^3$) e di quelle di compressione o espansione incrociata ($(3/2)k_3AB^2$, $(3/2)k_3AC^2$, ecc.) per cui risulta:

$$[79] \quad V = k_1 A + (3/4)\, k_3 A^3 + (3/2)\, k_3 A B^2 + (3/2)\, k_3 A C^2 + \ldots\ldots$$

Invece, quando non sono presenti i canali interferenti, l'ampiezza V' della portante interferita risulta:

$$[80] \quad V' = k_1 A + (3/4)\, k_3 A^3$$

Ponendo per semplicità A=B=C=..... si ottiene che la modulazione incrociata XMOD (espressa in decibel), definita secondo la NCTA, è data dalla relazione:

$$[81] \quad XMOD = 20 \log \frac{V - V'}{V'} = 20 \log (N-1)\, \frac{3}{2} \frac{k_3}{k_1} A^2$$

dove N è il numero dei canali applicati al dispositivo o sistema non lineare.

Questo metodo permette di valutare il comportamento dei sistemi (amplificatori) a larga banda nei riguardi della modulazione incrociata, ma richiede l'uso di generatori di segnali appositi in grado di applicare un numero elevato (60-100) di portanti contemporaneamente, con modulazione del 100% ad onda rettangolare (usualmente intorno a 15 kHz, frequenza di scansione della riga televisiva).

4. Leggi di addizione dei prodotti d'intermodulazione

4.1 In funzione del numero di canali

La presenza di più canali applicati ad un dispositivo o sistema non lineare determina la generazione di prodotti di intermodulazione, specialmente del terzo ordine, che in gran parte risultano cadere entro i canali stessi, sia sulle frequenze delle portanti, sia a frequenze che distano da esse in modo dipendente dalla canalizzazione. Particolare attenzione meritano i battimenti tripli fra le frequenze delle portanti, sia perché sono quelli di livello maggiore, sia perché la loro distribuzione entro il canale dipende dal tipo di canalizzazione adottata.

4.1.1 *Canalizzazione regolare a passo costante*

a) Distribuzione dei prodotti di intermodulazione nei canali

Per calcolare l'entità della degradazione dei prodotti di intermodulazione sui vari canali occorre determinare non soltanto le frequenze dei prodotti d'intermodulazione, ma anche il loro numero per ciascuna frequenza.

Un primo esempio è riportato nella tabella 4, che riguarda il caso della distribuzione di 20 canali di ugual livello disposti in modo regolare nella banda, cioè con canalizzazione regolare a passo costante. In tal caso i prodotti d'intermodulazione risultano cadere sulle frequenze delle portanti stesse, sia che si tratti di quelli di triplo battimento (del tipo $f_i \pm f_j \pm f_k$), sia che si tratti di quelli del tipo $2f_i \pm f_j$, il cui numero risulta molto inferiore a quelli di triplo battimento. Poiché l'ampiezza dei prodotti d'intermodulazione del tipo $2f_i \pm f_j$ è la metà (-6dB) di quella dei prodotti di triplo battimento, essi vengono conteggiati con peso pari a 1/4 (somma in potenza) nel totale pesato.

Per esaminare in modo più generale la distribuzione numerica dei prodotti d'intermodulazione nei vari canali in funzione della loro tipologia è stato conteggiato separatamente (v. Tabella 5) il numero di ciascuno dei prodotti d'intermodulazione, nel caso di una distribuzione di 100 canali equispaziati. Tenuto conto che i battimenti del tipo $-f_i - f_j - f_k$ e $+f_i - f_j - f_k$ non vengono presi in considerazione perché negativi, avendo assunto l'ipotesi: $f_k > f_j > f_i$, dall'esame dei risultati riportati nella Tabella 5 si possono effettuare le seguenti considerazioni:

a) i prodotti d'intermodulazione che cadono sulle frequenze delle portanti (f_{can}) dei canali sono quelli dovuti ai battimenti del tipo:
- $+f_i - f_j + f_k$, il cui numero è massimo sui primi canali,
- $-f_i + f_j + f_k$, il cui numero è massimo sugli ultimi canali,
- $+f_i + f_j - f_k$, il cui numero è massimo al centro della banda e poi decresce per i canali situati verso gli estremi,

b) i prodotti d'intermodulazione che cadono all'interno dei canali sono dovuti ai battimenti del tipo $f_i + f_j + f_k$ e $-f_i - f_j - f_k$; tali frequenze sono spostate, rispetto alla portante, di una quantità che dipende dal passo e dal tipo di canalizzazione.

Per una canalizzazione a passo (d) costante in cui le portanti (f_{can}) non sono multipli del passo di canalizzazione,

TABELLA 4
NUMERO DI PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL TERZO ORDINE CHE CADONO SU CIASCUNA PORTANTE (20 CANALI EQUISPAZIATI)

Canale	Numero di prodotti di intermodulazione (n) del tipo: $f_i \pm f_j \pm f_k$ (0 dB)	del tipo: $2f_i - f_j$ (-6 dB)	Totale pesato
1	81	9	83,25
2	90	9	92,25
3	98	9	100,25
4	105	9	107,25
5	111	9	113,25
6	116	9	118,25
7	120	9	122,25
8	123	9	125,25
9	125	9	127,25
10	126	9	128,25
11	126	9	128,25
12	125	9	127,25
13	123	9	125,25
14	120	9	122,25
15	116	9	118,25
16	111	9	113,25
17	105	9	107,25
18	98	9	100,25
19	90	9	92,25
20	81	9	83,25

ma differiscono dai multipli del passo di canalizzazione di una quantità Δ la posizione nel canale delle frequenze dovute ai battimenti del tipo $f_i + f_j + f_k$ e $-f_i - f_j - f_k$ dipende da Δ il cui valore è ricavabile dalla relazione:

[82] $\Delta = [f_{can} - kd]$,

dove:

[83] $k = [f_{can}/d]_{int.arr.}$

è ottenuto arrotondando al valore intero più prossimo.

In particolare, in presenza di un opportuno numero di canali, i prodotti d'intermodulazione del tipo $f_i + f_j + f_k$ si posizionano alle frequenze $f_{can} + d - 2\Delta$, mentre quelli del tipo $-f_i - f_j - f_k$ si posizionano alle frequenze $f_{can} + d - 2\Delta = f_{can+1} - 2\Delta$ dove f_{can+1} è la frequenza della portante del canale successivo, essendo $f_{can} + d = f_{can+1}$. Il numero di questi prodotti non è trascurabile, ma è direttamente confrontabile con il numero di prodotti che cadono sulla frequenza (f_{can}) della portante del canale.

Nel caso esaminato in cui si considerano 100 canali con distanza d = 6 MHz, distribuiti nella banda da 54 a 654 MHz, dove la prima portante video (f_{can}) è a 55,25 MHz, si ricava:

$k = [55{,}25/6]_{int.arr.} = 9$
$\Delta = 55{,}25 - 54 = 1{,}25$ MHz,

per cui i prodotti d'intermodulazione dei tipi suddetti cadono rispettivamente a +2,5 MHz (= 2Δ) ed a +3,5 MHz (= d – 2Δ) da f_{can}, che corrisponde anche a $f_{can+1} - 2\Delta$.

Dalla Tabella 5 si ricava, in particolare, che:

- i prodotti d'intermodulazione dovuti al battimento $-f_i - f_j + f_k$ compaiono sui primi canali a $f_{can} + d - 2\Delta = f_{can} + 3{,}5$MHz e poi diminuiscono fino a scomparire dall'ottantunesimo canale in poi;
- i prodotti d'intermodulazione dovuti al battimento $f_i + f_j + f_k$ si posizionano a $f_{can} + 2\Delta = f_{can} + 2{,}5$ MHz e compaiono solamente dal ventiduesimo canale in poi.

Più in generale è possibile calcolare il numero minimo di canali che dà origine a battimenti del tipo $f_i + f_j + f_k$ e $-f_i - f_j + f_k$ che cadono entro la banda dei canali distribuiti, in una posizione, rispetto alle portanti video f_{can}, che dipende dal passo di canalizzazione d.

Se l'N-esimo canale è caratterizzato dalla frequenza:

[84] $f_{canN} = f_{imin} + Nd$

dove il valore di f_{imin} può essere ricavato dalla [82]:

$f_{imin} = kd + \Delta$

affinché i prodotti d'intermodulazione del tipo $f_i + f_j + f_k$ cadano entro la banda dei canali considerati è necessario che per la minima frequenza f_{min} generata da tale battimento sia

[85] $f_{min} \leq f_{canN}$

Poiché:

$f_{min} = f_{imin} + (f_{imin} + d) + (f_{imin} + 2d) = 3f_{imin} + 3d$

dalle [84] e [85] si ricava:

$3f_{imin} + 3d \leq f_{imin} + Nd$

da cui:

[86] $N \geq \frac{2f_{imin}}{d} + 3 = 2k + \frac{2\Delta}{d} + 3$

Essendo, nell'esempio scelto: k = 9 e Δ = 1,25 MHz, si ottiene $N_{min} = 22$.

Analogamente, affinché i prodotti d'intermodulazione del tipo $-f_i - f_j + f_k$ cadano entro la banda dei canali considerati è necessario che per la massima frequenza f_{max} generata da tale battimento sia:

[87] $f_{max} \geq f_{imin}$

Poiché:

$f_{max} = -f_{imin} - (f_{imin} + d) + (f_{imin} + Nd) = -f_{imin} + (N-1)d$

dalla [87] si ricava:

$-f_{imin} + (N-1)d \geq f_{imin}$

da cui:

[86] $N \geq \frac{2f_{imin}}{d} + 1 = 2k + \frac{2\Delta}{d} + 1$

Essendo, nell'esempio scelto: k = 9 e Δ = 1,25 MHz, si ottiene $N_{min} = 20$

Quindi, nell'esempio scelto, risulta che se il numero di canali considerato è inferiore a 20, i prodotti d'intermodulazione dei due tipi suddetti non cadono entro la banda dei canali distribuiti.

Nell'esempio della Tabella 5 si osserva anche che il numero dei prodotti di intermodulazione del tipo $f_i + f_j + f_k$ e $-f_i - f_j + f_k$, che cadono all'interno di ciascun canale (cioè a +2Δ = +2,5 MHz ed a d-2Δ = +3,5 MHz da esse), si mantiene sempre inferiore al numero di prodotti d'intermodulazione che si posizionano sulla frequenza portante f_{can}. Invece, se la canalizzazione fosse multipla del passo d (cioè con Δ = 0) anche questi prodotti si posizionerebbero su f_{can}, incrementando sensibilmente il livello di distorsione. Una canalizzazione di questo tipo è perciò da evitare.

In figura 11 è rappresentata la distribuzione dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine relativi ai tripli battimenti con N = 100 canali.

Fig. 11 — Distribuzione dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine relativi ai tripli battimenti con N = 100 canali.

LE DISTORSIONI NON LINEARI NEGLI IMPIANTI DI CATV
ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI N. 1 - 1996

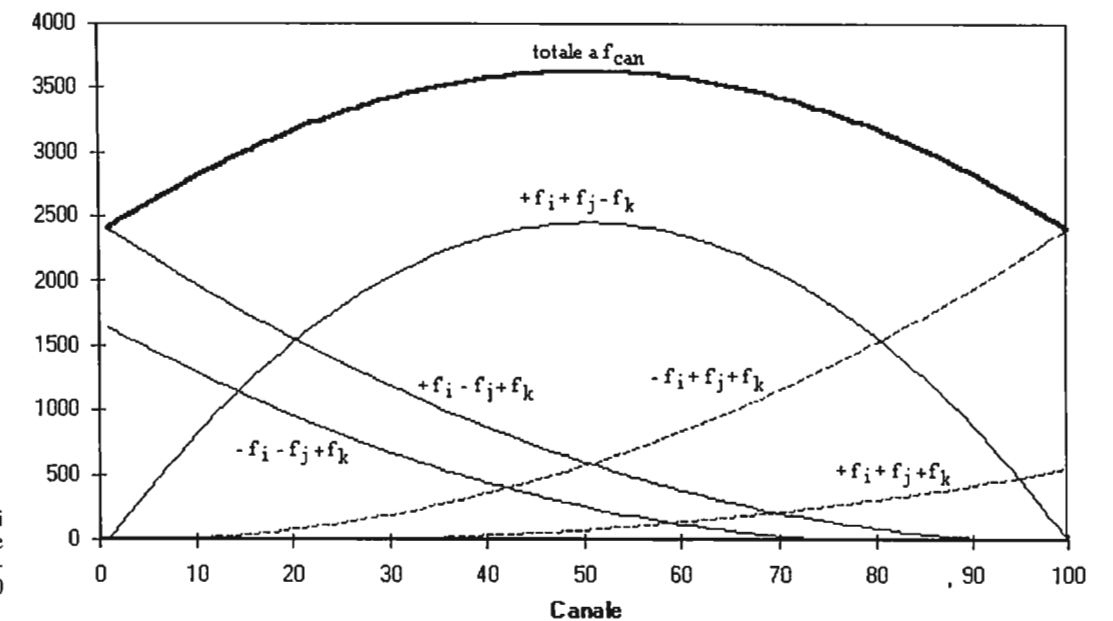



TABELLA 5

NUMERO DI PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL TERZO ORDINE CHE CADONO SULLE PORTANTI ED ALL'INTERNO DEI CANALI (100 CANALI EQUISPAZIATI)

Canale	Frequenza f_{can} (MHz)	Numero di prodotti d'intermodulazione (tripli battimenti) alle frequenze					
		$+f_i+f_j-f_k$	$+f_i-f_j+f_k$	$-f_i+f_j+f_k$	totale	$+f_i+f_j+f_k$	$-f_i-f_j+f_k$
		f_{can}	f_{can}	f_{can}	f_{can}	$f_{can}+2\Delta$	$f_{can}+d-2\Delta$
1	55,25	0	2401	0	2401	0	1640
2	61,25	98	2352	0	2450	0	1600
3	67,25	194	2304	0	2498	0	1560
4	73,25	288	2256	1	2545	0	1521
5	79,25	380	2209	2	2591	0	1482
6	85,25	470	2162	4	2636	0	1444
7	91,25	558	2116	6	2680	0	1406
8	97,25	644	2070	9	2723	0	1369
9	103,25	728	2025	12	2765	0	1332
10	109,25	810	1980	16	2806	0	1296
11	115,25	890	1936	20	2846	0	1260
12	121,25	968	1892	25	2885	0	1225
13	127,25	1044	1849	30	2923	0	1190
14	133,25	1118	1806	36	2960	0	1156
15	139,25	1190	1764	42	2996	0	1122
16	145,25	1260	1722	49	3031	0	1089
17	151,25	1328	1681	56	3065	0	1056
18	157,25	1394	1640	64	3098	0	1024
19	163,25	1458	1600	72	3130	0	992
20	169,25	1520	1560	81	3161	0	961
21	175,25	1580	1521	90	3191	0	930
22	181,25	1638	1482	100	3220	1	900
23	187,25	1694	1444	110	3248	1	870
24	193,25	1748	1406	121	3275	2	841
25	199,25	1800	1369	132	3301	3	812
26	205,25	1850	1332	144	3326	4	784
27	211,25	1898	1296	156	3350	5	756
28	217,25	1944	1260	169	3373	7	729
29	223,25	1988	1225	182	3395	8	702
30	229,25	2030	1190	196	3416	10	676
31	235,25	2070	1156	210	3436	12	650
32	241,25	2108	1122	225	3455	14	625
33	247,25	2144	1089	240	3473	16	600
34	253,25	2178	1056	256	3490	19	576
35	259,25	2210	1024	272	3506	21	552
36	265,25	2240	992	289	3521	24	529
37	271,25	2268	961	306	3535	27	506
38	277,25	2294	930	324	3548	30	484
39	283,25	2318	900	342	3560	33	462
40	289,25	2340	870	361	3571	37	441
41	295,25	2360	841	380	3581	40	420
42	301,25	2378	812	400	3590	44	400
43	307,25	2394	784	420	3598	48	380
44	313,25	2408	756	441	3605	52	361
45	319,25	2420	729	462	3611	56	342
46	325,25	2430	702	484	3616	61	324
47	331,25	2438	676	506	3620	65	306
48	337,25	2444	650	529	3623	70	289
49	343,25	2448	625	552	3625	75	272
50	349,25	2450	600	576	3626	80	256

TABELLA 5 (segue)

NUMERO DI PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL TERZO ORDINE CHE CADONO SULLE PORTANTI ED ALL'INTERNO DEI CANALI (100 CANALI EQUISPAZIATI)

Canale	Frequenza f_{can} (MHz)	Numero di prodotti d'intermodulazione (tripli battimenti) alle frequenze					
		$+f_i+f_j-f_k$	$+f_i-f_j+f_k$	$-f_i+f_j+f_k$	totale	$+f_i+f_j+f_k$	$-f_i-f_j+f_k$
		f_{can}	f_{can}	f_{can}	f_{can}	$f_{can}+2\Delta$	$f_{can}+d-2\Delta$
51	355,25	2450	576	600	3626	85	240
52	361,25	2448	552	625	3625	91	225
53	367,25	2444	529	650	3623	96	210
54	373,25	2438	506	676	3620	102	196
55	379,25	2430	484	702	3616	108	182
56	385,25	2420	462	729	3611	114	169
57	391,25	2408	441	756	3605	120	156
58	397,25	2394	420	784	3598	127	144
59	403,25	2378	400	812	3590	133	132
60	409,25	2360	380	841	3581	140	121
61	415,25	2340	361	870	3571	147	110
62	421,25	2318	342	900	3560	154	100
63	427,25	2294	324	930	3548	161	90
64	433,25	2268	306	961	3535	169	81
65	439,25	2240	289	992	3521	176	72
66	445,25	2210	272	1024	3506	184	64
67	451,25	2178	256	1056	3490	192	56
68	457,25	2144	240	1089	3473	200	49
69	463,25	2108	225	1122	3455	208	42
70	469,25	2070	210	1156	3436	217	36
71	475,25	2030	196	1190	3416	225	30
72	481,25	1988	182	1225	3395	234	25
73	487,25	1944	169	1260	3373	243	20
74	493,25	1898	156	1296	3350	252	16
75	499,25	1850	144	1332	3326	261	12
76	505,25	1800	132	1369	3301	271	9
77	511,25	1748	121	1406	3275	280	6
78	517,25	1694	110	1444	3248	290	4
79	523,25	1638	100	1482	3220	300	2
80	529,25	1580	90	1521	3191	310	1
81	535,25	1520	81	1560	3161	320	0
82	541,25	1458	72	1600	3130	331	0
83	547,25	1394	64	1640	3098	341	0
84	553,25	1328	56	1681	3065	352	0
85	559,25	1260	49	1722	3031	363	0
86	565,25	1190	42	1764	2996	374	0
87	571,25	1118	36	1806	2960	385	0
88	577,25	1044	30	1849	2923	397	0
89	583,25	968	25	1892	2885	408	0
90	589,25	890	20	1936	2846	420	0
91	595,25	810	16	1980	2806	432	0
92	601,25	728	12	2025	2765	444	0
93	607,25	644	9	2070	2723	456	0
94	613,25	558	6	2116	2680	469	0
95	619,25	470	4	2162	2636	481	0
96	625,25	380	2	2209	2591	494	0
97	631,25	288	1	2256	2545	507	0
98	637,25	194	0	2304	2498	521	0
99	643,25	98	0	2352	2450	533	0
100	649,25	0	0	2401	2401	547	0

b) Numero totale dei prodotti di intermodulazione

Il numero n dei prodotti di intermodulazione che cadono entro un singolo canale, specialmente quelli di triplo battimento, cresce molto rapidamente all'aumentare del numero N dei canali (o portanti) presenti.

Nella Tabella 6 è stato riportato in modo riassuntivo il numero totale dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine al variare del numero (N) dei canali. In particolare nella Tabella 6 si può analizzare la situazione globale focalizzando l'attenzione sia sui prodotti d'intermodulazione che cadono sulle portanti, sia su quelli che cadono, nel caso esaminato con passo di canalizzazione di 6 MHz e con portante video (f_{can}) del primo canale a 55,25 MHz, alle frequenze $f_{can} + 2\Delta = f_{can} + 2{,}5$ MHz e $f_{can} + d - 2\Delta = f_{can} + 3{,}5$ MHz.

Nella quarta colonna a partire da sinistra è contenuto il numero di prodotti d'intermodulazione dovuti al battimento $f_i + f_j + f_k$ ($f_{can} + 2\Delta = f_{can} + 2{,}5$ MHz), che comincia ad essere diverso da zero per $N \geq 22$ (per questo motivo i valori relativi ai primi venti canali sono nulli) per raggiungere il massimo all'ultimo canale considerato. Nella quinta colonna compaiono i prodotti d'intermodulazione relativi ai battimenti $2f_i + f_j$ e $f_i + 2f_j$ che pure si presentano alle frequenze del tipo $f_{can} + 2\Delta$), diversi da zero a partire da N = 20 ed anch'essi crescenti al crescere di N.

Per quanto riguarda i prodotti più distanti da f_{can} (cioè a $f_{can} + d - 2\Delta = f_{can} + 3{,}5$ MHz), nella sesta colonna della Tabella 6 è riportato il numero dei prodotti d'intermodulazione del tipo $- f_i - f_j + f_k$, che comincia ad essere diverso da zero per $N > 20$ ed aumenta al crescere di N.

Infine nell'ultima colonna di Tabella 6 è riportato il numero dei battimenti del tipo $- 2f_i + f_j$ che si presentano alle frequenze del tipo $f_{can} + d - 2\Delta$, tipiche del battimento $- f_i - f_j + f_k$.

c) Numero dei prodotti d'intermodulazione in funzione del numero dei canali

Se i canali oltre ad essere regolarmente spaziati hanno anche livelli tutti uguali, si ricava che il numero $n_{(2t)}$ dei battimenti del tipo $2f_i - f_j$, che cadono sulle portanti di ciascun canale, è calcolabile in base al numero (N) dei canali distribuiti. Se N è pari, il numero di tali battimenti è costante su ogni canale e calcolabile mediante la relazione:

[89] $n_{(2t)} = (N/2) - 1$ (N pari)

mentre, se N è dispari, il numero di tali battimenti è compreso fra:

[90] $n_{(2t)} = (N - 1) / 2$ e $n_{(2t)} = (N - 3) / 2$ (N dispari)

valori che differiscono di una unità, in funzione della posizione del canale entro la banda dei canali distribuiti.

Invece, il numero $n_{(3t)}$ dei prodotti di intermodulazione di triplo battimento del tipo $f_i + f_j - f_k$, che cadono sulle portanti di ciascun canale, varia in funzione della posizione del canale entro la banda dei canali distribuiti e va da un valore minimo (canali ai limiti estremi della banda), calcolabile con la relazione:

[91] $n_{(3t)min} = [(N / 2) - 1]^2$ (N pari)

ad un valore massimo

[92] $n_{(3t)max} = [(N / 2) - 1]^2 + [(N / 2) - 1] (N / 4)$ (N pari)

che è circa 1,5 volte maggiore di quello calcolato con la relazione (91), se $N \geq 10$.

Se N è dispari, la (91) non fornisce un valore intero; tuttavia, il numero minimo di battimenti è ancora calcolabile con la (91), arrotondando al valore intero più vicino, cioè si ha:

[93] $n_{(3t)min} = [(N/2) - 1]^2_{arr.int.}$ (N dispari)

Il valore massimo si può ricavare dalla (92), arrotondando al valore intero più vicino, cioè si ha:

[94] $n_{(3t)min} = \{[(N/2) - 1]^2 + [(N/2) - 1] (N/4\}_{arr.int.}$ (N dispari)

che risulta circa 1,5 volte maggiore di quello calcolato con la (93), se $N \geq 10$.

Ad esempio, nel caso particolare della Tabella 4, dove N vale 20 (N pari), si ricava che il valore di $n_{(2t)}$ è 9, mentre il valore di $n_{(3t)}$ varia dal valore minimo, che è $81 = [20/2-1]^2$, al valore massimo di 126, che è circa 1,5 volte maggiore del valore minimo. Nel caso di N dispari, ad esempio N = 21, il valore di $n_{(2t)}$ è compreso fra 9 e 10, mentre il valore di $n_{(3t)}$ varia dal valore minimo di $90 = [21/2-1]^2_{arr.int}$, ad un valore massimo di 140, che è circa 1,5 volte maggiore del valore minimo.

TABELLA 6

Numero di canali (N)	Numero di prodotti d'intermodulazione alle frequenze f_{can}		$f_{can} + 2\Delta$		$f_{can} + d - 2\Delta$	
	3 toni	2 toni	3 toni	2 toni	3 toni	2 toni
3	1	1	0	0	0	0
5	4	2	0	0	0	0
10	26	4	0	0	0	0
15	67	7	0	0	0	0
20	126	9	0	1	0	1
30	301	14	10	6	30	6
40	551	19	37	11	110	11
50	876	24	80	16	240	16
60	1276	29	140	21	420	21
70	1751	34	217	26	650	26
100	3626	49	547	41	1640	41

NUMERO COMPLESSIVO DEI PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL TERZO ORDINE AL VARIARE DEL NUMERO (N) DEI CANALI, CON D = 6 MHZ

TABELLA 7

Numero di canali (N)	Numero di prodotti d'intermodulazione alle frequenze f_{can}		$f_{can} + 2\Delta$	$f_{can} + d - 2\Delta$
	min (n_1)	max (n_2)		
3	0,55	1,25	0	0
5	2,50	4,50	0	0
10	17,00	27,00	0	0
15	43,75	68,75	0	0
20	83,25	128,25	0,25	0,25
30	199,50	304,50	11,50	31,5
40	365,75	555,75	39,75	112,75
50	582,00	882,00	84,00	244,00
60	848,25	1283,25	145,25	425,25
70	1164,50	1759,50	223,50	656,50
100	2413,25	3638,25	557,25	1650,25

NUMERO (PESATO) DI PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE CHE CADONO ALL'INTERNO DI CIASCUN CANALE, PER UN NUMERO DI CANALI COMPRESO TRA 3 E 100

d) Somma dei prodotti di intermodulazione

Il contributo totale dei prodotti di intermodulazione viene calcolato sommando la potenza relativa a ciascuno di essi.

Ad esempio (v. Tabella 4), assumendo che i livelli delle portanti siano tutti uguali, il contributo totale viene ottenuto "pesando" il numero di prodotti del tipo $2f_i - f_j$ soltanto per un quarto rispetto al numero di prodotti di triplo battimento del tipo $f_i \pm f_j \pm f_k$, essendo l' ampiezza dei primi la metà (-6 dB) rispetto a quella dei secondi, come risulta anche dalle relazioni (10) e (11).

Pertanto, ancora con riferimento alla Tabella 4, dove N vale 20, si osserva che il numero totale (pesato) dei battimenti che cadono in un singolo canale dipende dalla posizione del canale stesso entro la banda dei canali distribuiti e va da un valore minimo (n_1) pari a 83,25 ad un valore massimo (n_2) pari a 128,25.

Nella Tabella 7 sono riportati i valori di n_1 e n_2 nel caso di canalizzazione regolare ed a passo costante, calcolati in funzione del numero (N) dei canali distribuiti, per alcuni valori di N compresi fra 3 e 100. Tali valori sono calcolabili anche tenendo conto delle relazioni (89), (90), (91), (92), (93) e (94) riportate in precedenza, in modo esatto sia per quanto riguarda i valori minimi, sia per quanto riguarda i valori massimi.

Dalla Tabella 7 si ricava che il numero di battimenti che cadono entro i canali (cioè a $f_{can} + 2\Delta = f_{can} + 2{,}5$ MHz ed a $f_{can} + d - 2\Delta = f_{can} + 3{,}5$ MHz) è sempre inferiore al numero di battimenti che cadono sulle portanti (a f_{can}).

Pertanto, la degradazione dovuta alla presenza dei prodotti di intermodulazione può essere valutata tenendo conto soltanto dei prodotti di intermodulazione che cadono sulle portanti.

e) Degradazione

La degradazione dovuta alla presenza di più prodotti d'intermodulazione (di triplo battimento) che cadono entro un singolo canale è calcolabile sommando la loro potenza relativa. Infatti se il numero (pesato) dei prodotti di intermodulazione è n, il rapporto C/I_3 globale (o CTB) relativo a quel canale risulta degradato (in dB) di 10log(n), rispetto al caso in cui è presente un solo prodotto di intermodulazione di triplo battimento.

Se la canalizzazione è regolare, i livelli delle portanti sono tutti uguali ed i coefficienti di distorsione sono costanti e reali in tutta la banda interessata, allora i valori minimi e massimi di tale degradazione, espressi da 10log(n_1) e 10log(n_2), sono quelli riportati nella Tabella 8 ed in figura 12.

Poiché, come si è detto, il numero n dei battimenti è calcolabile in modo non semplice in funzione del numero N dei canali distribuiti, è possibile calcolare la degradazione in modo approssimato (in dB), tenendo conto soltanto del numero (N) dei canali, mediante la relazione:

[95] $-6 + 20 \log (N - 1)$

il cui valore in funzione di N è riportato anche nella Tabella 8 ed in figura 12. Si osserva che tale relazione fornisce valori in buon accordo con gli andamenti di 10log(n_1) e 10log(n_2).

Pertanto, applicando la suddetta relazione approssimata è possibile calcolare il valore di C/I_3 da misurare con il metodo a due segnali, per ottenere un dato valore del CTB in funzione del numero (N) dei canali; ricordando che i prodotti d'intermodulazione del terz'ordine a due segnali hanno un livello che è la metà (-6dB) rispetto a quelli di triplo battimento (responsabili del CTB), risulta che il rapporto $C/I_{3(2t)}$ da misurare deve essere di 6 dB maggiore rispetto al valore desiderato di CTB, aumentato della degradazione fornita dalla relazione (95): – 6+20log(N-1); pertanto, in decibel, si ha:

[96] $20 \log (C/I_3)_{(2t)} = CTB + 20\log(N-1)$ (dB)

Nella Tabella 8 è riportato, per valori crescenti di N fino a 100, il valore di $C/I_{3(2t)}$ che occorre ottenere, assumendo, ad esempio, che il valore di CTB desiderato sia di 60 dB.

TABELLA 8

VALORE DELLA DEGRADAZIONE E DI C/I_3 DA MISURARE CON DUE SEGNALI IN FUNZIONE DEL NUMERO (N) DI CANALI DISTRIBUITI

Numero di canali (N)	Numero di prodotti d'intermodulazione (pesato) n_1	n_2	Degradazione totale (pesata) $10\log(n_1)$ (dB)	$10\log(n_2)$ (dB)	Degradazione approssimata $-6+20\log(N-1)$ (dB)	$15\log(N-1)$ (dB)	$C/I_{3(2t)}$ (dB)
3	0,55	1,25	-2,6	1,0	0,0	4,5	66,0
5	2,50	4,50	4,0	6,5	6,0	9,0	72,0
10	17,00	27,00	12,3	14,3	13,1	14,3	79,1
15	43,75	68,75	16,4	18,4	16,9	17,2	82,9
20	83,25	128,25	19,2	21,1	19,6	19,2	85,6
30	199,50	304,50	23,0	24,8	23,2	21,9	89,2
40	365,75	555,75	25,6	27,4	25,8	23,9	91,8
50	582,00	882,00	27,6	29,5	27,8	25,4	93,8
60	848,25	1283,25	29,3	31,1	29,4	26,6	95,4
70	1164,50	1759,50	30,7	32,5	30,8	27,6	96,8
80	1530,75	2310,75	31,8	33,6	32,0	28,5	98,0
90	1947,00	2937,00	32,9	34,7	33,0	29,2	99,0
100	2413,25	3638,25	33,8	35,6	33,9	29,9	99,9

Il valore di $C/I_{3(2t)}$ relativo al singolo prodotto di intermodulazione e riferito ad un determinato livello della portante in ingresso o in uscita dal dispositivo o sistema non lineare, può essere misurato con il metodo di misura a due segnali. In tal modo si possono determinare le condizioni di lavoro appropriate per il dispositivo non lineare, in funzione delle distorsioni accettabili.

Se, invece, sono note le caratteristiche del dispositivo o sistema non lineare in termini di IP_3 o di $P_{u(1dB)}$, è possibile mediante la (55) determinare il livello massimo utilizzabile in uscita (o in ingresso) per non superare il limite relativo al rapporto $C/I_{3(2t)}$, calcolato mediante la [96].

Per quanto riguarda la modulazione incrociata, nel caso di più canali interferenti, il contributo di XMOD' dovuto a ciascun canale interferente deve essere convenientemente inferiore al valore massimo XMOD ammesso, secondo la relazione:

[97] $XMOD' = XMOD - x \log(N-1)$

dove N è il numero dei canali interferenti ed x è un coefficiente che vale 20 se i contributi di modulazione incrociata dovuti a ciascun canale sono sincroni e tutti in fase, 10 se sono asincroni.

In pratica, si preferisce assumere il valore intermedio di 15 come più realistico, in analogia con la relazione [96].

Nella Tabella 8 e nella figura 12 sono riportati anche gli andamenti della degradazione calcolata con la relazione $15\log(N-1)$, che può essere usata anche per il calcolo della degradazione dovuta ai prodotti di intermodulazione del terzo ordine, quando la canalizzazione non è regolare ed a passo costante.

4.1.2 *Canalizzazione generica*

Se i canali distribuiti sono spaziati in modo irregolare e hanno livelli diversi, il numero n (pesato) dei battimenti che cadono in un singolo canale può essere calcolato con

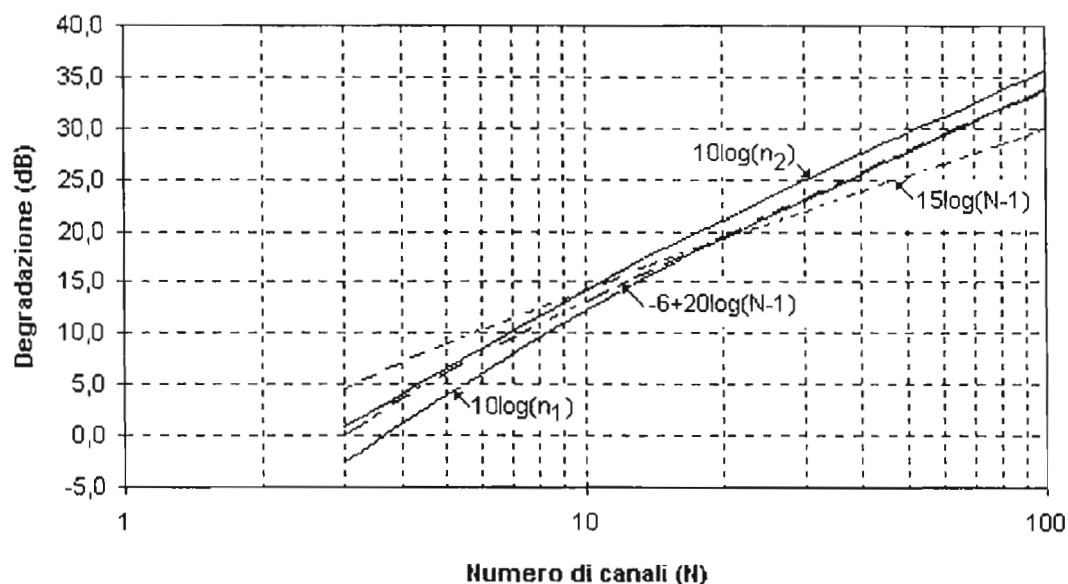



Fig. 12 — Andamenti della degradazione totale (pesata), dovuta all'accumulo dei battimenti del terz'ordine che cadono entro un singolo canale, in funzione del numero (N) dei canali distribuiti.

TABELLA 9

PRODOTTI DI INTERMODULAZIONE DEL QUINTO ORDINE A CINQUE, QUATTRO, TRE E DUE PORTANTI E CONTRIBUTO TOTALE PESATO RISPETTO ALL'INTERMODULAZIONE DEL QUINTO ORDINE A CINQUE PORTANTI NEL CASO DI 20 CANALI EQUISPAZIATI

canale	$f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_y \pm f_w$ (0 dB)	$2f_i \pm f_j \pm f_k \pm f_z$ (-6 dB)	$2f_i \pm 2f_j \pm f_k$ (-12 dB)	$3f_i \pm f_j \pm f_k$ (-15,6dB)	$4f_i \pm f_j$ (-27,6dB)	$3f_i \pm 2f_j$ (-21,6dB)	Totale pesato
1	3663	1617	120	54	0	6	4076,29
2	3795	1650	120	54	0	6	4216,54
3	3926	1670	129	55	0	5	4353,13
4	4047	1697	128	54	0	6	4480,79
5	4159	1713	134	54	0	6	4597,16
6	4256	1730	135	55	0	5	4698,51
7	4337	1742	138	54	0	6	4782,66
8	4399	1753	138	54	0	6	4847,41
9	4442	1757	141	55	0	5	4891,63
10	4463	1762	140	54	0	6	4913,79
11	4463	1762	140	54	0	6	4913,79
12	4442	1757	141	55	0	5	4891,63
13	4399	1753	138	54	0	6	4847,41
14	4337	1742	138	54	0	6	4782,66
15	4256	1730	135	55	0	5	4698,51
16	4159	1713	134	54	0	6	4597,16
17	4047	1697	128	54	0	6	4480,79
18	3926	1670	129	55	0	5	4353,13
19	3795	1650	120	54	0	6	4216,54
20	3663	1617	120	54	0	6	4076,29

procedimenti piuttosto laboriosi, in cui si deve tener conto sia della struttura della canalizzazione, sia del livello relativo dei singoli canali o portanti.

In base ai calcoli ed alle considerazioni svolte per la canalizzazione regolare a passo costante si può anche affermare che il numero di prodotti di intermodulazione che cadono sulle portanti o entro i canali è inferiore ai valori calcolati precedentemente.

4.1.3 *Cenni sull'intermodulazione del quinto ordine*

Si consideri ora l'insieme dei battimenti che danno origine ai prodotti di intermodulazione del quinto ordine, tenendo conto del livello di disturbo di ognuno, diverso a seconda del tipo di battimento.

Prendendo come riferimento i battimenti a cinque portanti (v. Tabella 3), la cui ampiezza dipende da un fattore $(15/2)k_5$, l'ampiezza dei prodotti dovuti ai battimenti a quattro portanti è la metà, mentre nel caso di battimenti a tre portanti del tipo $2f_i \pm 2f_j \pm f_k$ l'ampiezza è un quarto, e per quelli del tipo $3f_i \pm f_j \pm f_k$ si riduce ad un sesto. Infine, nel caso di prodotti generati da battimenti a due portanti, l'ampiezza per quelli del tipo $4f_i \pm f_j$ è 1/24 e per quelli del tipo $3f_i \pm 2f_j$ è 1/12, rispetto a quella dei battimenti a cinque portanti.

La Tabella 9 contiene il numero di prodotti di intermodulazione del quinto ordine dovuti ai diversi battimenti, ciascuno con il proprio peso, calcolati per 20 canali con spaziatura di 6 MHz nella banda da 54 a 174 MHz, dove la prima portante cade a 55,25 MHz .

È opportuno osservare che il numero dei prodotti di quinto ordine è molto elevato, ma di solito il coefficiente k_5 è molto inferiore a k_3; pertanto il contributo di tali prodotti è da ritenersi non rilevante.

In sede sperimentale è possibile accertare l'importanza dei prodotti di intermodulazione del quinto ordine rispetto a quelli del terzo ordine, ad esempio variando di 1 dB il livello delle portanti e osservando l'incremento del livello dei prodotti di intermodulazione a due od a tre segnali, comuni al terzo ed al quint'ordine. Se questi ultimi subiscono una variazione di 3 dB per ogni dB di variazione delle portanti, i prodotti del quinto ordine sono trascurabili; se invece l'incremento è maggiore di 3 dB per ogni dB (con tendenza a 5dB per ogni dB), i prodotti del quinto ordine sono importanti e non possono essere trascurati.

TABELLA 10

VALORI DI C/I CON METODI DI MISURA A LARGA BANDA

NORME	Metodo di misura				
	con due segnali		con tre segnali	multiportante	
	C/I_2 (dB)	C/I_3 (dB)	C/I_3 (dB)	CTB (dB)	CSO (dB)
I.E.C.	57	57	63	54	54
CENELEC	-	-	66	57	57
C.E.I.	54	54	60	-	-

4.2 IN FUNZIONE DEL NUMERO DI DISPOSITIVI NON LINEARI IN CASCATA

Se la non linearità del sistema è distribuita su più dispositivi non lineari in cascata (tipicamente in un impianto di distribuzione via cavo si hanno più amplificatori in cascata per compensare le perdite del cavo), occorre tener conto che i prodotti di intermodulazione, essendo generati dai singoli dispositivi non lineari, sono tutti alle stesse frequenze e vanno sommati in tensione.

Pertanto, se vi sono M amplificatori uguali in cascata, che lavorano con gli stessi livelli di segnale in uscita, il rapporto C/I_3 alla fine della catena risulta degradato (in dB) di 20logM. Quindi, nella (96) occorre aggiungere il termine +20logM per tener conto della presenza di più amplificatori in cascata.

Tale degradazione vale anche per la modulazione incrociata XMOD, per cui nella [97] occorre aggiungere il termine –20logM.

Se gli amplificatori non sono uguali ed i livelli operativi sono diversi, il calcolo risulta molto più laborioso in quanto occorre tener conto delle distorsioni introdotte da ciascun amplificatore, in funzione delle sue caratteristiche e del livello dei segnali d'uscita.

5. Valori limite raccomandati dalle norme

Si riportano nelle Tabelle 10 e 11 i valori limite raccomandati dalle norme IEC, CENELEC e CEI per i livelli dei prodotti di intermodulazione del secondo e del terzo ordine da misurare nei punti terminali della rete di distribuzione via cavo (prese d'utente), in funzione dei metodi di misura adottati.

Ovviamente, in punti intermedi dell'impianto, oltre i quali avvengono ulteriori amplificazioni, i valori da misurare devono essere adeguatamente superiori.

Per quanto riguarda la modulazione incrociata XMOD, il valore raccomandato dalle Norme IEC è di -42 dB, quando la misura venga effettuata con due portanti di ugual ampiezza.

Se la misura viene effettuata con il metodo NCTA (v. par. 3.4.2 b) con N-1 portanti interferenti modulate al 100% con onda rettangolare ed una non modulata, il valore di XMOD misurato risulta uguale a quello ottenuto per il CTB, usando lo stesso numero di portanti non modulate, come risulta evidente dalla relazione (81).

Le norme CEI non raccomandano nessun valore di XMOD, in considerazione del fatto che la modulazione incrociata e l'intermodulazione sono entrambe dovute alla distorsione di terzo ordine (k_3); quindi, essendo intimamente legate, quando l'intermodulazione è mantenuta entro limiti prefissati, anche la modulazione incrociata risulta di valore accettabile.

6. Conclusioni

È stato svolto un esame dei fenomeni di non linearità dovuti ai battimenti fra più segnali presenti all'entrata di un generico dispositivo non lineare, tenendo conto non soltanto dei prodotti d'intermodulazione di secondo e terz'ordine, ma anche di quelli di quarto e quint'ordine.

Sono state ricavate le relazioni che intercorrono fra il punto d'intersezione (IP3) ed il punto di compressione a 1 dB, misurato con un solo segnale d'entrata.

Sono stati brevemente esaminati i metodi di misura più usuali (senza entrare nei dettagli delle procedure) ed infine sono stati riportati i valori limite raccomandati dalle normative nazionali ed internazionali.

È stato inoltre ricavato il valore della degradazione introdotta dall'accumulo dei prodotti d'intermodulazione (prevalenti sono quelli del terz'ordine) in presenza di più canali (fino a 100) ed è stata ricavata una legge di calcolo di tale degradazione in base al numero (N) dei canali applicati al sistema non lineare. nel caso di canalizzazione con passo regolare e costante, molto usata negli impianti di CATV.

VALORI DI C/I_3 CON METODI DI MISURA A BANDA STRETTA (DI CANALE)

TABELLA 11

NORME	Sistemi televisivi	Frequenze relative delle portanti		Livelli delle portanti			C/I_3
		$f_s - f_v$ (MHz)	$f_c - f_v$ (MHz)	L_v (dB)	L_c (dB)	L_s (dB)	(dB)
I.E.C.	NTSC	4,5	3,58	-8	-17	-7	54
	B,G,H,I (PAL)	5,5	4,43	-8	-17	-10	54
	L (SECAM)	6,5	4,25/4,41	-4	-17	-7	54
CENELEC	B,G,H,I (PAL)	5,5	4,43	-8	-17	-10	54
	L (SECAM)	6,5	4,25/4,41	-4	-17	-7	48
C.E.I.	B,G (PAL)	5,5	4,43	-5	-17	-10	50

BIBLIOGRAFIA

1. - Cabled Distribution Systems. Part 1: Systems primarily intended for sound and television signals operating between 30 MHz and 1 GHz. «IEC» Publication 728-1 Edizione 1986.
2. - Norme per gli impianti centralizzati d'antenna, con la relativa variante V1. «Norma CEI 12-15», fasc. 432, fascicolo 1382 V. 1977.
3. - Norme per le misure sugli impianti centralizzati d'antenna. «Norma CEI 12-17», 1981, fasc. 559.
4. - Impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi e sonori. «Norma CEI 12-47», febbraio 1995, fasc. 2484E Parte 3: Apparecchiature attive per la distribuzione a larga banda con cavi coassiali. «Versione italiana della Norma CENELEC EN 50083-3».
5. - Impianti di distribuzione via cavo per segnali televisivi e sonori. «Norma CEI 12-50», aprile 1995, fasc. 2537E Parte 5: Apparecchiature del terminale di testa. «Versione italiana della Norma CENELEC EN 50083-5».
6. - K.A. SIMONS: The decibel relationships between amplifiers distorsion products. «Proc. IEEE», luglio 1970, vol. 58, n. 7, p. 1071-1086 (Special Issue on Cable Television).
7. - R.G. MEYE. M.J. SHENSA, R. ESCHENBACH: Cross modulation and intermodulation in amplifiers at high frequencies. «IEEE Journal on Solid-State», febbraio 1972. vol. SC-7. n. 1, p. 16-23.
8. - J. SHEKEL: On the realities of non-linear distorsions in CATV amplifiers. «22a Annual NCTA Convention», Technical volume, 1973, p. 197-202.
9. - F. MUSSINO: Caratteristiche degli impianti di CATV proposte dall'IEC. «Tavola Rotonda del Gruppo Televisione e Videonica dell'AEI», Roma 14 marzo 1975; XXII Rassegna internazionale elettronica, nucleare ed aerospaziale - Elettronica e Telecomunicazioni, N. 6, 1975, p. 243-245.
10.- F. MUSSINO: Metodi di misura per impianti di CATV proposti dall'IEC. «Tavola Rotonda del Gruppo Televisione e Videonica dell'AEI», Roma 14 marzo 1975; XXII Rassegna internazionale elettronica, nucleare ed aerospaziale - Elettronica e Telecomunicazioni, N. 1, 1976, p. 29-34.
11.- P. D'AMATO, F. MUSSINO: I fenomeni non lineari nelle trasmissioni televisive via cavo. «XXII Convegno Internazionale delle Comunicazioni», Genova, 9-11 ottobre 1975. p. 223-239.
12.- F. MUSSINO: Intermodulation characteristics of the television broadcast satellite receivers. «Alta Frequenza». 1983, n. 3. p. 118-125.
13.- E. AKERLIN. P. LANCASTER: Cross modulation in CATV amplifiers. «IEEE Transactions on broadcasting», dicembre 1992, vol. BC-18, n. 4. p. 92-94.
14.- F. MUSSINO: I fenomeni di non linearità. «AEI». vol. 80, n. 10. ottobre 1993. p. 44/916-51/923.

NOTIZIARIO

Da comunicazioni pervenute alla Redazione

MACINTOSH DIMOSTRA QUANTO È FACILE DISEGNARE AL COMPUTER — Da sempre Macintosh è il computer grafico per eccellenza, facile da usare quanto pressoché illimitato nelle sue possibilità di elaborazione; da sempre i migliori di elaborazione grafica e pittorica funzionano su Macintosh.

Nel corso della mostra *da Monet a Picasso - capolavori impressionisti e postimpressionisti dal museo Puskin di Mosca*, in programma presso il Palazzo Reale di Milano fino al 30 giugno, i visitatori di ogni età potranno mettere alla prova il proprio talento grafico e pittorico su vari personal computer Macintosh Performa e provare a confrontarsi con gli immortali della pittura, forse con risultati alterni, ma sicuramente con strumenti e con una facilità e immediatezza di utilizzo che i grandi impressionisti ci invidierebbero.

I Performa a disposizione dei visitatori, tanto potenti quanto stilisticamente curati ed eleganti nella loro compattezza e integrazione, sono equipaggiati con software specifico che ne esalta le caratteristiche di semplicità e facilità di utilizzo pur offrendo strumenti di disegno e ritocco dalle grandi possibilità.

Il software di gestione è infatti At Ease, l'interfaccia studiata appositamente per collegare nel modo più rapido e intuitivo, tramite semplici pulsanti, programmi e dati in condizioni di sicurezza: ClarisWorks, uno dei programmi multifunzione più venduti nel mondo, e il pratico PhotoFlash di Apple consentono di disegnare immagini ex nuovo oppure acquisire da scanner fotografie o disegni per interventi di ritocco, con strumenti di comprensione universale quali matita, gomma, pennelli e aerografo.

Ancora, il software Amazing Animation permette di organizzare le proprie creazioni in sequenze multimediali complete di suoni e animazioni. Chi non vuole impegnarsi nel disegno, ma semplicemente concedersi una pausa durante la visita, potrà divertirsi a ricomporre sul video i puzzle dei grandi capolavori del passato, mentre i più piccoli, grazie a quattro giochi interattivi della serie Gioca con l'arte di Medialink, potranno compiere i primi passi alla scoperta di forme e colori e intervenire sulle immagini con tutta la loro creatività.

Con la propria presenza a Palazzo Reale, Apple intende arricchire ulteriormente un evento culturale di elevato valore e nel contempo dimostrare come ogni Macintosh, utilizzando software di grande diffusione e facile da usare, sia il computer ideale per la grafica e la multimedialità a qualunque livello di età ed esperienza.

La pagina home italiana di Apple su World Wide Web si trova all'indirizzo *http://www.apple.it/*

PARLA AL TUO PC CON IL NUOVO OS/2 WARP — Avete mai parlato con il vostro personal computer? Questa è la domanda posta da IBM a migliaia di sviluppatori riuniti la settimana scorsa alla IBM Technical Interchange Developer's Conference di Nashville. In questa occasione, la società ha infatti mostrato in anteprima la prossima versione di OS/2 Warp, nome in codice Merlin.

Integrando la più recente tecnologia di riconoscimento vocale IBM Voice Type, un'interfaccia utente che comprende una nuova versione di Lotus SmartCenter e le funzionalità per l'accesso a Internet facile come non mai, OS/2 Warp «Merlin» sarà il primo sistema operativo per piattaforma Intel dotato del supporto vocale. Il nuovo OS/2 Warp, inoltre, rivoluzionerà completamente il concetto di facilità d'uso.

«IBM ha raggiunto i massimi vertici nella semplicità d'uso di un sistema operativo», ha detto Kathryn Dzubeck, executive vice president di Communications Network Architects, una società di consulenza informatica di Washington. «L'interazione human-centric contrapposta alla più tradizionale machine-centric offrirà enormi vantaggi in termini di incremento della produttività di utenti aziendali e consumer».

Le capacità di navigazione e dettatura vocali integrate in Merlin permetteranno agli utenti di OS/2 di interagire con il PC con la voce, anziché utilizzare la tastiera o il mouse. Le funzioni di navigazione vocale permetteranno alle persone di usare la voce per spostarsi attraverso le barre menu e gli oggetti dell'area di lavoro per fare tutte le normali operazioni: aprire file e lanciare applicazioni, oppure connettersi a Internet pronunciando una semplice frase come «Vai alla Home Page della CNN». Usare un computer non è mai stato così facile e divertente.

Le funzionalità di dettatura permetteranno agli utenti di dettare memo e altri documenti e quindi di inserirli all'interno di applicazioni di word processing o e-mail. Grazie a questa tecnologia, i medici potranno ad esempio esaminare radiografie e visitare pazienti dettando immediatamente al computer le loro osservazioni.

Merlin introdurrà miglioramenti e innovazioni non solo per quanto riguarda il supporto vocale. Il sistema operativo offrirà infatti anche un'interfaccia utente più funzionale e intuitiva, con icone tridimensionali ombreggiate, 256 colori, molti sfondi personalizzabili, font perfettamente leggibili anche sugli schermi dei portatili e folder di nuovo design con possibilità di personalizzare le linguette con diversi colori.

IBM ha fuso il meglio della tecnologia SmartCenter di Lotus e di LaunchPad di OS/2 War per creare il nuovo OS/2 WarpCenter. WarpCenter è una barra a icone posta sul desktop di Merlin che permette agli utenti di lanciare facilmente i programmi e verificare lo status del sistema.

Essa comprende un «Warp button» che crea dinamicamente una vista di tutto quanto c'è sull'area di lavoro del PC, una lista delle operazioni che indica quali programmi sono in uso, indicatori di stato relativi allo spazio libero sul disco e al livello di carica delle batterie, calendario, orologio e timer.

Gli utenti potranno personalizzare il loro WarpCenter mediante un semplice drag and drop delle icone sulla barra. La barra potrà contenere qualsiasi raggruppamento di oggetti: folder, applicazioni ed anche icone che rappresentano URL (pagine) di Internet.

WarpCenter sarà sempre visibile e gli utenti potranno così lanciare una nuova applicazione, verificare il contenuto di un drive o collegarsi a Internet senza dover chiudere la finestra su cui stanno lavorando. Se gli utenti lo preferiscono, WarpCenter potrà comunque essere disattivato.

Merlin comprenderà anche altre funzionalità, come capacità di networking, di sicurezza e il supporto run-time di OpenDoc. Tutto questo permetterà a OS/2 Warp di proporsi come il sistema operativo migliore sia per gli utenti consumer che per quelli aziendali.

Merlin sarà disponibile sul mercato nella seconda metà di quest'anno.

MATHCAD E AXUM: CALCOLO E GRAFICA SI SPOSANO — Mathsoft, Inc. – Channel Srl. (Il Girasole Palazzo 3/05 A – 20084 Lacchiarella) la produttrice di Matcad, il programma di calcolo matematico più diffuso al mondo con oltre 500.000 installazioni – annuncia l'acquisizione di TriMetrix, la produttrice del programma Axum di grafica e di analisi dati sul mercato dal 1989. La versione DOS di Axum – Editor's Choice di PC Magazine – ha ottenuto grande favore da parte dell'utenza tecnica nell'industria e nelle università per le funzioni da analisi dei dati unite alla generazione di grafica d'alto livello qualitativo. Nel 1994 Axum è stato rilasciato nella versione Windows come primo prodotto drag-and-drop per la grafica e l'analisi dei dati con la generazione istantanea di grafici. Axum rafforza la posizione di leadership di Mathcad in campo tecnico e lancia Mathsoft nel mercato dell'office automation. Axum è disponibile presso i distributori Mathsoft – Channel in Italia – a Lit. 850.000. Viene proposto in offerta a Lit. 690.000 a tutti gli utilizzatori di foglio elettronico (Excel, Lotus, Quattro, ecc.) e al prezzo speciale di Lit. 425.000 agli utilizzatori di Mathcad Plus 6.0.

Mathcad ha ottenuto un successo mondiale presso tutti gli utenti che necessitano di calcolo tecnico per la sua immediatezza d'uso e la visualizzazione delle simbologie matematiche sullo schermo nella loro forma consueta. Non solo: Mathcad è di fatto un'alternativa «libera» al concetto di foglio elettronico – che costringe l'utente a operare nella gabbia delle righe e delle colonne. Mathcad infatti, è un vero foglio elettronico ove l'utente può posizionare le proprie formule, i grafici e il testo in assoluta libertà e frammisti uno all'altro. Il risultato finale è un «vero» documento, una «vera» relazione che richiede solo di essere stampata così com'è.

Ovviamente, Mathcad genera automaticamente grafici dalle formule contenute sul foglio e, al variare di qualsiasi parametro delle medesime, il grafico viene aggiornato in tempo reale.

Questo concetto di formula «viva» e di collegamento elettronico fra gli elementi componenti la pagina elettronica è stato esteso da Mathsoft a una imponente libreria di manuali elettronici opzionali per la specializzazione di Mathsoft nelle varie branche tecniche e scientifiche: meccanica, civile, chimica, calcolo statistico, analisi dei segnali e delle immagini, elettronica, impianti elettrici, termodinamica, astronomia, ecc.

L'acquisizione di TriMetrix e del programma Axum, che presto avrà un link di integrazione con Mathcad 6.0, permette agli utenti di Mathcad di estendere le potenzialità di analisi e rappresentazione grafica mantenendo – in ambiente Windows – la prerogativa dell'immediatezza e della semplicità di utilizzo. «D'altro canto» afferma Channel «Axum verrà proposto come strumento integrativo all'utenza di fogli elettronici quali Excel, Lotus, ecc. ovunque si richiedano funzioni aggiuntive di analisi dei dati e quantità e potenza nella loro rappresentazione. Axum legge istantaneamente dati dai più diffusi fogli e word processor».

La versione 4.0 di Axum permette:

- creazione del grafico tramite la selezione dei dati e del tipo di grafico, memorizzazione e modifica della struttura del grafico come progetto e sua riutilizzazione successiva, 32 strumenti di disegno, esempi e help in linea
- drag-and-drop di dati grafici 2D e 3D istantanei utilizzando il nuovo OLE2 Microsoft. Axum è il primo programma di analisi dati e generazione di grafica a offrire questa importante prestazione che semplifica la creazione, la modifica interattiva dei grafici e la commutazione fra grafici diversi. Ad esempio, per aggiungere una seconda serie di dati a un grafico a barre esistente, è sufficiente spostare la colonna addizionale e «lasciarla cadere» nel grafico – e viene creata istantaneamente la barra aggiuntiva. L'utilizzo di OLE2 estende la tecnica di drag-and-drop a tutti i programmi OLE2 – ad esempio, un word processor come Word 6.0 – in cui, creato il grafico, è possibile inserirlo e tenerlo aggiornato automaticamente in tempo reale. Non più il tedioso «dentro-fuori» da una applicazione all'altra!
- struttura ad oggetti e quindi estrema intuitiva facilità a trattare e modificare grafici
- possibilità di operare con insiemi di dati di dimensione praticamente illimitata
- possibilità di editare spessore e colore di linee, attributi testo e quindi tipo di linea, di marcatori, ecc.
- legge file ASCII, Excel, Lotus, dBase, ecc.
- funzioni già pronte per la trasformazione dei suoi dati – qualsiasi sia la dimensione dei medesimi: ordinamenti, gestioni blocchi (nuovi, copia, inserisci, cancella, trasponi colonne e righe, cerca e sostituisci, valori mancanti, ecc.)
- statistica descrittiva: minimo, massimo, media, somma, varianza, deviazione standard, errore standard, mediana, osservazioni valide e totali
- ANOVA, correlazioni, e analisi delle frequenze, fit e determinazione della qualità del medesimo, (R2, F-stat, t-stat), intervallo di confidenza anche personalizzabile, analisi regressive semplici, multiple, polinomiali, non lineari ai minimi quadrati
- grafici 2D e 3D immediatamente richiamabili da menu a icone. 2D: area, barre, box, a punti con etichette, Smith, polari, fitting anche non-lineari, torta, barra dell'errore, istogramma, alto-basso-medio, logaritmici, vettoriali 3D: barre, superficie, a punti, spline, regressione, contorno, proiezioni 2D nello spazio 3D. Superfici con mesh o contorni colorati
- creazione automatica delle barre dell'errore
- assi: lineari, semi-log, log-log, Smith, polari, 3D, assi x,y multipli con scale diverse, assi x superiori con offset automatico fra gli assi multipli
- editore grafico: 9 tipi di linea, 16 tipi di simboli, 32 colori (di cui 16 personalizzabili), controllo dello spessore della linea e della dimensione del simbolo, tratteggi multipli per aree, etichette per i dati e possibilità di inserire testo a piacere nel grafico, rotazione del testo ad angoli qualsiasi, esponenti/deponenti illimitati, più grafici nella stessa pagina, controllo dei piani su cui risiedono gli oggetti grafici, rotazione dei grafici 3D, inserimento di grafico nel grafico, ridimensionamento del grafico, zoom, legende e titoli, marcatori d'intervalli automatici, personalizzabili nel modo più completo assieme al testo associato, ecc.
- oltre 100 operatori e funzioni per la stesura di semplici procedure (if, while, for, goto) e personalizzazioni di grafici, analisi dati
- personalizzazioni tramite scripts, creazione di bottoni, routine C o C++ esterne per personalizzare algoritmi di calcolo o l'interfaccia di Axum.

La pagina TriMetrix su Internet è raggiungibile a www.trimetrix.com/trimetrix e Mathsoft a http://www.mathsoft.com.

Axum 4.0 richiede 8Mb di memoria e 16Mb liberi su disco in ambiente Windows 3.x o superiore.

HEWLETT-PACKARD PRESENTA LA PRIMA WORKSTATION «VERDE» — La prima workstation «verde», progettata in base a principi ergonomici e e di rispetto dell'ambiente, è stata presentata da Hewlett-Packard. Si tratta della HP 9000 Serie 715, che si basa sul concetto progettuale HP-EPAC (Ecological Packaging Assembly Concept) e offre la funzione di «riposo» del monitor e il monitor TCO.

HP-EPAC è un nuovo concetto di montaggio e supporto per apparecchiature e componenti elettroniche: sostituisce le tradizionali strutture metalliche di supporto con una schiuma di polipropilene espanso (EPP). Questo materiale è integralmente riciclabile e non danneggia l'ambiente.

Le workstation verdi contengono anche meno parti meccaniche rispetto agli altri prodotti tradizionali e possono essere montate e smontate con rapidità. Il minor numero di parti diminuisce anche l'eventuale necessità di riparazioni e prolunga la vita utile delle workstation. Gli effetti negativi delle vibrazioni possibili durante la spedizione e l'uso vengono minimizzati dall'incapsulamento dei componenti nella schiuma EPP. Le workstation, infine, pesano meno e permettono, di conseguenza, di alleggerire l'imballo e diminuire i costi di trasporto.

La funzione «monitor dormiente» riduce il consumo elettrico. Il monitor TCO diminuisce le radiazioni emesse dallo schermo. Il rumore complessivo delle nuove workstation è inferiore rispetto agli altri modelli.

Le nuove workstation verdi HP sono particolarmente rivolte agli uffici pubblici che devono rispettare le nuove e più stringenti leggi di protezione dell'ambiente, oltre che alle imprese che vedono nella salvaguardia ambientale una delle loro strategie fondamentali.

Come parte del programma relativo alle workstation verdi, HP riprende le unità giunte alla fine del loro utilizzo e le ricicla.

INTERGRAPH ENTRA NEL MERCATO DELLA PRODUZIONE VIDEO CON UNA NUOVA DIVISIONE — Intergraph Computer Systems – una delle cinque business unit indipendenti di Intergraph (in Italia, Strada Palazzo R1, Milanofiori - 20089 Rozzano - MI) ha costituito una nuova divisione, denominata Digital Media Division, che svilupperà prodotti rivolti ai mercati televisivo e broadcast.

Dopo essersi affermata nel corso della sua storia come società leader nel mercato della grafica computerizzata, Intergraph si appresta ora ad entrare da protagonista in un'area di forte evoluzione tecnologica e di mercato, nella quale intende svolgere un ruolo primario, confermando il suo profilo di azienda capace di offrire prodotti che coniugano elevato contenuto tecnologico ed un rapporto prezzo/prestazioni particolarmente interessante.

Per produrre stazioni non solo valide sotto il profilo tecnologico ma anche molto efficienti e pensate per i veri utilizzatori di questo specifico mercato, Intergraph Computer Systems ha creato, all'interno della nuova organizzazione, Digital Media Studio, una vera e propria casa di produzione video, con produttori e registi professionisti che, mettendo a frutto la propria esperienza e frequentazione del mercato video broadcast, svolgeranno le principali funzioni di ricerca e sviluppo nonché di testing sul campo dei prodotti da sviluppare.

È già disponibile StudioZ, il primo prodotto della divisione Digital Media, che alla sua presentazione allo scorso Comdex di Las Vegas, ha vinto il premio come miglior prodotto scelto dagli editori della stampa specializzata.

StudioZ è una workstation basata su processore Intel Pentium® Pro e sistema operativo Windows NT, dotata di particolari dispositivi di input/output e compressione video, in grado di svolgere tutte le funzioni di video editing non lineare con qualità full-broadcast. Una scheda grafica accelerata con ampie funzioni di gestione dello Z-buffer permettono di ottenere tempi di risposta immediati a tutti i comandi di transizione ed effetti, velocizzando enormemente il lavoro di editing, incluso quello più complesso, e permettendo di utilizzare la stessa workstation anche per lo svolgimento di tutte le funzioni di costruzione di animazione grafica bi- e tridimensionale, sfruttando la nuova serie di software di animazione migrati recentemente dalla piattaforma Silicon Graphics su PC.

StudioZ è inoltre la prima workstation dotata di ingressi ed uscite video in D1 (component serial digital video), il che consente una qualità d'immagine superiore ad ogni altro tipo di workstation oggi disponibile sul mercato.

Per poter seguire con particolare attenzione lo sviluppo di questo mercato anche in Italia, Intergraph Computer Systems ha definito un accordo di partnership commerciale con Noax Multimedia, società romana da anni presente sul mercato della computergrafica e del video digitale, che sarà quindi in grado di seguire in maniera ottimale i processi tecnici e commerciali, portando in dote la propria introduzione sui canali specializzati oltre ad una competenza tecnica specifica.

Intergraph Computer Systems, una delle divisioni di Intergraph, sviluppa, costruisce, vende e supporta sistemi di elaborazione per Technical Desktop, una combinazione di applicazioni tecniche compatibili e di strumenti di produttività personale integrati in un solo computer. L'offerta hardware comprende personal workstation e server.

SISTEMA PROTETTO DI TRASFERIMENTO AUTOMATICO DI FILE — TELELOGOS (Francia) presenta TEL96++, un sistema automatico di trasferimento file fra computer remoti, conforme alla normativa europea STUTEL (Eurofile Transfert).

TEL96++ consente lo scambio di dati fra sistemi eterogenei ed è disponibile in due versioni: TEL96++/Server, che deve essere installato sulla macchina che centralizza i dati, e TEL96++/Station che si deve installare sulle stazioni periferiche fisse (PC, registratori di cassa, ecc.) o mobili (notebook, portatili, ecc.).

In base all'applicazione da realizzare, le stazioni remote chiamano il Server, oppure questo chiama le stazioni. TEL96++/Server può gestire contemporaneamente diverse comunicazioni in entrata o in uscita ed ottimizza l'uso dei canali di comunicazione suddividendo le chiamate su ciascuna delle linee disponibili al momento.

TEL96++ consente lo scambio di file sulle reti pubbliche europee – RTC, X25, ISDN, GSM Data – e si adatta ad ambienti diversi.

Per i terminali Client, TEL96++ / Station è disponibile in versione MSDOS, Windows 3.X, UNIX SCO, AIX. Per i Server, TEL96++ / Server è disponibile per MS-DOS, UNIX SCO, AIX, HP/UX, PROLOGUE e da aprile 1996 è disponibile anche per Windows NT e Windows 95.

TEL96++ si basa sull'esecuzione automatica di script. Per l'utente, tale esecuzione risulta assolutamente trasparente. È direttamente il programma applicativo utilizzato (per esempio di gestione commerciale o finanziario, o ancora il software di gestione del magazzino) che richiama TEL96++ per effettuare la trasmissione automatica dei dati.

TEL96++ protegge le chiamate utilizzando una rubrica di corrispondenti. Il sito che chiama deve fornire al computer chiamato, un codice di identificazione composto da nome e password. In base al livello di accesso che gli è stato attribuito, questo sito chiamante potrà accedere a una o più directory del sito remoto, caricare o scaricare file, lanciare comandi a distanza, ecc.

TEL96++ riduce i costi di comunicazione perché l'utente può programmare l'esecuzione di uno script ad una determinata data e ora e quindi effettuare la chiamata nella fascia oraria che presenta la tariffa più ridotta. Inoltre, in caso di interruzioni durante la comunicazione, il ripristino di quest'ultima è gestito a due livelli:

- a livello dello dello script, i comandi eseguiti correttamente non vengono eseguiti un'altra volta;
- a livello del file, quando la comunicazione si interrompe, la trasmissione del file riprende laddove si era interrotta (cold recovery).

TEL96++ è in grado di trasferire qualsiasi tipo di file (testi, programmi, immagini, posta, ecc.) e verifica che il file trasmesso sia identico al file di origine. Così, su una rete non protetta, TEL96++ garantisce l'integrità dei dati trasmessi (controllo CRC). L'uso del protocollo europeo STUTEL assicura la compatibilità di TEL96++ con tutte le applicazioni conformi al medesimo standard. TEL96++ con tutte le applicazioni conformi al medesimo standard. TEL96++ può essere usato con i programmi di trasferimento file conformi alle norme STUTEL (Eurofile Transfert).

Indipendentemente dal tipo di rete utilizzata, TEL96++ offre prestazioni elevate e fornisce inoltre resoconti di trasmissioni e statistiche molto precisi.

TEL96++ è disponibile in versione francese e inglese.

IL PROGETTO DVBIRD DÀ INIZIO ALLO SVILUPPO DI UN CHIPSET PER TELEVISIONE DIGITALE — La tecnologia digitale è unanimemente riconosciuta come l'elemento che permetterà all'industria televisiva di effettuare un grande balzo in avanti. Per questo motivo 11 aziende e istituzioni europee hanno iniziato a lavorare su un progetto per lo sviluppo di «chipset» ottimizzati per la ricezione del segnale televisivo digitale «terrestre» (cioè trasmesso normalmente via etere, non da satellite).

La nuova iniziativa, denominata DVBIRD (Digital Video Broadcasting Integrated Receiver Decoder) è stata attivata dalla Commissione Europea nell'ambito del programma ACTS (Advanced Communications Technologies and Services) per la ricerca e lo sviluppo tecnologico pre-competitivo.

L'introduzione di trasmissioni TV digitali «terrestri» (non satellitari) per sostituire le attuali tecniche analogiche PAL/SECAM avrà, secondo le previsioni, un notevole impatto sociale ed economico: il servizio televisivo sarà decisamente migliore e verrà creato un nuovo grande mercato per ricevitori TV digitali. I «chipset» (insieme di chip) che saranno sviluppati da DVBIRD accelerano l'introduzione dei ricevitori di prima generazione e saranno un riferimento per i futuri prodotti di largo consumo realizzati dai produttori europei di apparecchiature. In questo modo DVBIRD favorirà una rapida introduzione di servizi digitali «terrestri» più potenti ed efficaci per il grande pubblico.

DVBIRD procederà in due fasi e inizierà con le specifiche del sistema di base per trasmissione terrestre Digital Video Broadcasting «DVB-T». Durante la prima fase verranno analizzate tutte le specifiche dei precedenti progetti, come RACE dTTb, e verrà definita un'architettura adatta per il ricevitore. Il risultato di questa fase permetterà di definire le specifiche di un «chipset» di prima generazione, prodotto dai partner del programma che si occupano della fabbricazione di semiconduttori e utilizzato per realizzare un primo sistema dimostrativo. Altri progetti ACTS utilizzeranno questo «chipset» dimostrativo per realizzare prove sul campo e per definire i parametri per la pianificazione del servizio.

Nel corso della seconda fase di DVBIRD verranno definite le specifiche di un sistema più ottimizzato, un ricevitore di seconda generazione per trasmissioni TV digitali terrestri. Prendendo in considerazione le evidenti analogie con la trasmissione via cavo e via satellite, in questa fase sarà possibile definire le specifiche per circuiti che possono essere utilizzati per tutti i tre metodi di trasmissione. Il progetto durerà due anni ed è iniziato nel gennaio 1996.

Una delle estensioni previste al progetto è la progettazione e la prototipazione di un secondo «chipset» e un sistema dimostrativo, basato sulle specifiche del ricevitore misto per trasmissioni via satellite, cavo o terrestri definito nella fase principale del progetto. I circuiti integrati saranno progettati e prodotti in Europa utilizzando fonderie di silicio avanzatissime e con tecnologie submicrometriche.

I partner di DVBIRD sono: CCETT, CNET, Comatlas, CO.Ri.M.Me, Deutsche Thomson Brandt (DTB), DLR, Matra Communication, Philips LEP, SELECO e Thomson Multimedia R&D France (TBS); i partner associati sono il Politecnico di Torino e l'Information Technology Centre. La SGS-THOMSONS Microelectronics è a capo del progetto.

NUOVA TECNOLOGIA PER IL COLLAUDO DEI CIRCUITI INTEGRATI — Hewlett-Packard ha presentato il primo sistema di collaudo a alte prestazioni per la produzione di circuiti integrati digitali, che utilizza la nuova tecnologia del «Sistema della testina di prova» più avanzata oggi disponibile. Il nuovo sistema HP 83000 risponde alla strategia HP di ridurre il costo dei collaudi grazie a prodotti con il miglior rapporto prezzo/prestazioni oggi esistente.

La «testina di prova» funziona a 330 MHz senza sacrificare funzionalità e prestazioni: si tratta di un grande progresso rispetto a quanto era disponibile in precedenza, per di più unito a prezzi bassi, affidabilità elevata, throughput ai livelli massimi oggi possibili.

Il progresso continuo nella tecnologia del collaudo di circuiti integrati porta, di solito, all'incompatibilità tra i sistemi di test dell'attuale generazione con quelli della generazione successiva. Ciò comporta anche l'allungamento del time-to-market e richiede costi significativi quando si effettua la conversione da una generazione all'altra. In linea con la strategia HP per lo sviluppo prodotti, il nuovo sistema compatto HP 83000 è pienamente compatibile con tutti gli altri prodotti della gamma HP 83000 e garantisce così agli utilizzatori la tranquillità di scegliere HP come fornitore di soluzioni di collaudo nel lungo periodo.

Per massimizzare il throughput, un nuovo alimentatore è stato inserito nella testina di prova del nuovo sistema compatto HP 83000. Viene così diminuito il tempo necessario per cambiare la tensione di alimentazione o per effettuare misure Iddq (quiescent operating current). La configurazione di sistema del concetto «sistema nella testina di prova» è più semplice e aumenta anche in misura significativa l'affidabilità del sistema.

La gamma HP 83000 è la più veloce e accurata oggi disponibile per i sistemi di collaudo nella produzione di circuiti integrati. Il nuovo sistema può operare alla velocità massima di 330MHz, ma sono disponibili sistemi a 50, 80, 120 MHz. Gamme di velocità più elevate sono disponibili a richiesta, per rispondere a esigenze produttive future o saltuarie, eliminando così il rischio di investire capitali in una capacità di collaudo eccessiva per le esigenze attuali.

Il nuovo sistema è disponibile con un massimo di 256 canali I/O e dispone di funzioni integrate di scansione e memoria.

NUOVA TECNOLOGIA PER LA PRODUZIONE - DELLE SMART CARD — SOLAIC, filiale del gruppo francese SLIGOS, specializzata nella fabbricazione di smart card ha sviluppato una nuova tecnologia per la produzione di carte con un numero ridotto di componenti di piccole dimensioni.

Attualmente il mercato mondiale delle smart card è di circa 400 milioni di unità l'anno, l'85% delle quali sono delle carte a scalare telefoniche. SOLAIC ne produce circa 70 milioni.

Questo mercato dovrebbe conoscere una crescita annuale del 29-30% nei prossimi anni, tuttavia le tessere telefoniche riducendo proporzionalmente il loro peso, continueranno a rappresentare secondo le previsioni il 65% della produzione totale alla fine del secolo.

Il nuovo sistema di fabbricazione presentato da SOLAIC al Salone Cartes '95 (ottobre '95) di Parigi, dove ha ricevuto il "Premio dell'Innovazione", si chiama: M.O.S.A.I.C. (Microchip On Surface And In Card).

Risultato di quattro anni di ricerca e di circa 20 milioni di franchi di investimento, M.O.S.A.I.C. semplifica la fabbricazione delle smart card eliminando diverse tappe e riducendone i costi del 20-30%.

A differenza delle tecniche tradizionali che prevedono l'assemblaggio per galvano-plasturgia in un micromodulo, del chip, del film-contatto, dei fili di connessione e delle resine che veniva poi inserito nella tessera innanzitutto fresata, SOLAIC inserisce il chip direttamente nella tessera tramite laser.

Le tessere di nuovo tipo sono fabbricate in policarbonato, un materiale dalle notevoli caratteristiche meccaniche e termiche.

Le connessioni sono stampate per serigrafia con un inchiostro conduttore, grazie ad un sistema di stampa ad alta definizione controllato visualmente da PC.

La tecnologia M.O.S.A.I.C. riduce del 50% il numero delle fasi di produzione e l'eliminazione nel processo di fabbricazione di parti e di materie prime nobili.

È inoltre ecologica poiché la nuova scheda è completamente riciclabile e l'energia utilizzata per la sua fabbricazione è notevolmente ridotta.

NUOVA SLIP PRINTER DA EPSON: TM-295 — TM-295 è l'erede della ben nota TM-290II e da questa si differenzia per l'aggiunta di alcuni codici di controllo e per la possibilità di avere a disposizione un maggior numero di caratteri come ad esempio l'alfabeto cirillico e caratteri di altre lingue europee ed asiatiche. Questa nuova stampante è stata costruita nel rispetto delle normative di qualità e di sicurezza vigenti, è infatti marchiata col marchio CE.

La TM-295 è una slip printer con testina a 7 aghi, di conseguenza i caratteri stampati avranno matrice di 7×7 o 5×7 su 35 o 42 colonne.

È un'unità molto compatta le dimensioni sono infatti di soli 18 centimetri di larghezza, 19 di profondità e 10 di altezza, caratteristica questa che le consente di essere posta in qualsiasi postazione di lavoro.

Come abbiamo appena detto la TM-295 è una slip printer ovvero una stampante dotata di un piano su cui si appoggia il modulo da stampare, come ad esempio fatture o bolle da vidimare. Il meccanismo di trascinamento, poi, provvede a far avanzare con precisione e rapidamente il foglio posto sul piano. Una volta terminata la stampa il meccanismo può essere sollevato dal piano stesso tramite un apposito pulsante del pannello denominato release e che serve a rilasciare il foglio stampato.

Questo tipo di gestione carta consente di utilizzare vari tipi di modulistica come assegni, moduli prestampati, bolle e ricevute, queste ultime anche in più copie; la stampante può infatti gestire un originale più due copie in carta chimica autocopiante.

La TM-295 può stampare il set di caratteri standard, contenuto in memoria oppure, opzionalmente, le tabelle di caratteri greco, est europeo, turco, cirillico, russo. Oltre a questo, con l'utilizzo della modalità bit image, è possibile creare della grafica personalizzata e comporre un logo da stampare sui propri moduli o altro ancora.

Si può impostare la stampa dei caratteri in dimensioni diverse e ruotata in varie direzioni (90°, 180°, 270°) come, ad esempio, la stampa in doppia altezza, doppia larghezza, ruotata di 270°.

La stampante dispone di un'interfaccia RS-232C o parallela Centronics; il che consente di collegarsi a qualsivoglia apparecchiatura di tipo industriale o a personal computer.

L'impiego più comune di questa stampante è quello di strumento di vidimazione per le ricevute connesse alle transazioni effettuate con carte di credito, oppure come periferica per la compilazione delle ricevute rilasciate in ristoranti ed alberghi. Applicazioni queste dove a tutt'oggi la stampante più richiesta è stata la TM-290.

MERLIN FACILITA LA CONNESSIONE A ... INTERNET, UFFICIO E CASA— Durante il Networld+Interop di Las Vegas, IBM ha tolto i veli alla nuova versione di OS/2 Warp, nome in codice Merlin, dimostrando le sue eccezionali capacità di client di rete per una larga fascia di utenti. Merlin permetterà una connessione semplificata a Internet e alla rete aziendale, localmente o remotamente, dimostrandosi la scelta ideale per chiunque possa definirsi un «connected user», sia perché naviga in Internet da casa sia perché lavora in un'azienda connessa da LAN o WAN.

«Nel panorama estremamente competitivo di oggi, la semplicità d'uso e una solida capacità di connessione a tutto e a tutti sono i due requisiti fondamentali per le aziende che vogliono eccellere» – afferma Shaku Atre, presidente di Atre Group, società di consulenza di Port Chelser (New York). «Merlin promette di stabilire un nuovo standard prestazionale e di produttività grazie alle sue numerose funzionalità di connettività».

Merlin usufruirà di un Web Browser integrato nel sistema e della tecnologia a oggetti per facilitare la navigazione in Internet. Gli utenti saranno in grado di memorizzare i siti più interessanti sotto forma di icona, direttamente sul desktop di Merlin, attivando la connessione con un semplice clic.

La URL (universal resourced locators) rappresentata dall'icona potrà essere memorizzata su dischi rigidi o dischetti mantenendo le sue caratteristiche di connessione.

Merlin inoltre facilita l'interazione con i server FTP (file transfer protocol) attraverso una nuova cartella presente sul desktop. Gli utenti, per collegarsi a un sito FTP, non dovranno fare altro che aprire quella cartella. Il trasferimento dei file poi sarà una normale operazione di drag and drop tra cartelle standard. In questo modo la procedura di accesso e copia di file da un server FTP viene enormemente velocizzata e semplificata.

«Siamo consci dell'importanza del collegamento in rete di una larga fascia di utenza e per questo contiamo di rendere Merlin la scelta principale per chi vuole un client che dia accesso a questo mondo» – dice Wally Casey, vice presidente del Client Product Management di IBM Personal Software Products. «Oltre a condividere dati e informazioni attraverso una LAN o una WAN, sempre più utenti si stanno muovendo verso Internet anche per le procedure lavorative. Noi vogliamo rendere la ricerca delle informazioni più semplice e immediata».

Gli utenti di Merlin inoltre potranno avere accesso a molte applicazioni presenti su Internet. Per esempio sarà più semplice per chi sviluppa trovare gli strumenti per «tradurre» i programmi Internet per Windows in software per la piattaforma OS/2. Questo perché le API Windows saranno presenti nelle IBM Developer API Extensions di Merlin.

Le Developer API Extensions sono infatti un subset di oltre 700 API e di 300 messaggi perfettamente compatibili con le Win32 API e con i messaggi di Windows.

Con Merlin, IBM continua il suo impegno nel realizzare business solutions aperte e multipiattaforma, diffondendo OS/2 Warp come client universale per il collegamento a qualunque sistema operativo di rete (nello stesso modo in cui OS/2 Warp Server è un sistema operativo di rete universale, aperto a qualunque client). Dal server basato su PC fino ai mainframe, Merlin sarà la soluzione per il collegamento.

Inoltre, Merlin permetterà la connessione alle principali piattaforme server su PC, incluso OS/2 Warp Server, LAN Server, Windows NT, Banyan Vines e Novell NetWare.

Ma non sarà soltanto possibile collegare Merlin a un server NetWare, si potrà usufruire anche del NetWare Directory Services di Novell.

Anche questo è un segno dell'impegno IBM a realizzare soluzioni aperte che permettano agli utenti di Merlin l'accesso a tutte le informazioni presenti nella loro azienda, senza preoccuparsi di conoscere su quale server NetWare siano.

Merlin inoltre integra l'IBM Personal Communications/3270 su TCP/IP che permette la comunicazione con i mainframe. Questa funzionalità di emulazione di terminale migliora ulteriormente la produttività degli utenti semplificando l'accesso ai dati presenti su un host.

«Le funzionalità di connessione di OS/2 Warp rendono più semplice la comunicazione tra diverse piattaforme software e hardware» – conferma Ray Pratts, senior technical analyst di Variable Annuity Life, una compagnia di assicurazioni – «qualunque sistema operativo dovrà essere network-ready senza richiedere software aggiuntivo, e sono felice di vedere come IBM abbia reso standard, con Merlin, questa necessità».

Gli utenti di Merlin potranno velocemente vedere e accedere a tutte le risorse di rete disponibili in una cartella del desktop, in cui esse verranno rappresentate per mezzo di icone. Questa funzionalità rende ancora più semplice la condivisione delle informazioni, come fare drag and drop.

Inoltre, oltre a tutto ciò, Merlin è in grado di funzionare come server in una connessione peer-to-peer che permette a piccole reti di utenti di avere a disposizione un mezzo semplice ed economico per la condivisione di file, di informazioni e di risorse (dischi, stampanti, modem). Merlin può interoperare ottimamente anche in una rete peer-to-peer con OS/2 Lan Server 3.0, Windows per Workgroup, Windows NT, Windows 95, Lan Manager 2.x, Pc Lan Program 1.3 e Lantastic 6.0.

Merlin disporrà di un unico requester per OS/2 Warp Server e per gli altri sistemi operativi compatibili, fondendo il LAN Requester e il Peer Requester prima separati. Con un unico requester gli utenti potranno condividere le risorse e amministrare il server.

Con Merlin non sarà più necessario restare in ufficio per essere in contatto con l'azienda. Le funzionalità di remote access e di mobile file synchronization permetteranno agli utenti di eseguire il proprio lavoro in movimento senza perdere informazioni. Le funzionalità di accesso remoto consentono agli utenti di Merlin di accedere alle risorse di reti aziendali con un modem da casa, da una stanza di albergo o da un telefono cellulare. Inoltre con il mobile file synchronization sarà possibile lavorare senza essere collegati alla rete con la sicurezza che i file verranno aggiornati appena ci si collegherà. Questa funzionalità si accorge delle differenze tra i file del client e del server, duplicando automaticamente sul server qualunque operazione svolta sul client e viceversa, se l'utente abilita questa scelta. Questo assicura che l'utente mobile stia sempre utilizzando l'ultima versione dei dati.

SCHEDE DI RETE PER WINDOWS 95 — Uno dei grandi vantaggi apportati agli utenti da Windows 95 è la possibilità di installazione completamente automatica di schede e periferiche conformi alle specifiche Plug and Play, che evitano le noiose, nonché spesso causa di errori, operazioni di configurazione.

BLACK BOX ha presentato una nuova serie di schede di rete Ethernet, sia in formato per bus ISA, sia in formato PC Card (PCMCIA), completamente compatibili con le specifiche Plug and Play e quindi utilizzabili immediatamente in un computer dotato di Windows 95.

Si noti che le schede di rete sono completamente compatibili anche con il classico modello NE2000, per cui sono utilizzabili anche con tutti gli altri sistemi operativi senza richiedere programmi di pilotaggio particolari.

Il modello LE1350A è una scheda di rete PCMCIA dotata sia del connettore RJ45 per il collegamento a reti Ethernet 10Base-2.

Il modello LE1351A, sempre in formato PCMCIA, è invece dotato del solo connettore RJ45 per il collegamento reti Ethernet 10Base-T.

I modelli LE1356C e LE1357C, rispettivamente con il solo connettore RJ45 e con i connettori RJ45 e BNC e AUI, sono invece delle schede adatte a personal computer con bus ISA, con rilevamento automatico del tipo di mezzo trasmessivo utilizzato, con funzionamento full-duplex sulla connessione 10Base-T e con la presenza di uno zoccolo per l'eventuale inserzione della memorie Boot PROM.

HEWLETT-PACKARD PA-8000, IL MICROPROCESSORE A 64 BIT CHE BATTE TUTTI GLI ALTRI — Il microprocessore RISC HP PA-8000 a 64 bit si è confermato il più potente oggi esistente sul mercato in un benchmark SPEC95, superando i prodotti concorrenti con prestazioni migliori fino al 260 per cento. Questi microprocessori Hewlett-Packard, disponibili da gennaio 1996 per gli ISV (Independent Software Vendor) sono consegnabili ai clienti dal mese di aprile.

Le prestazioni del chip HP PA-8000 11,8 SPECint95 e 20,2 SPECfp95, vanno ben oltre le performance di qualunque altro microprocessore di analoghe caratteristiche, prodotto dalla concorrenza. Si tratta di prestazioni di altissimo livello che permettono di aumentare la produttività dei sistemi basati su questo microprocessore.

HP continua a fornire prestazioni elevate e tecnologie d'avanguardia in una gamma sempre più ampia di sistemi. HP sta sviluppando, assieme a Intel, una nuova architettura Instruction Set a 64 bit ad alta scalabilità.

Le stime HP di prestazioni di 8,6 SPECint95 e di 15 SPECfp95, effettuate lo scorso anno per il chip PA-8000, erano state comunicate prima della messa a punto dei compilatori sul PA-8000. La tecnologia dei compilatori è parte integrale delle prestazioni di tutti i sistemi RISC. HP ha realizzato algoritmi euristici particolarmente sofisticati per svolgere analisi complete dei codici sorgente per realizzare codici eseguibili che permettano di sfruttare, in modo efficiente e completo, le caratteristiche di parallelismo del chip PA-8000.

I compilatori HP fanno il tracking di tutte le istruzioni che producono effetti sul throughput del PA-8000. La pianificazione delle istruzioni, la preanalisi di dati e istituzioni, l'eliminazione delle ramificazioni, la predizione delle istruzioni di salto, l'eliminazione di conflitti e dipendenze sono solamente alcune tra le ottimizzazioni realizzate con l'obiettivo di garantire e migliorare il parallelismo a livello di istruzioni.

«Esecuzione intelligente» è un concetto che indica l'operatività sinergica di tutti gli elementi critici del PA-8000 quando tutti quegli elementi operano a livelli prestazionali altissimi. Il PA-8000 è il primo processore PA-RISC che integra completamente questo concetto fin dal suo progetto.

L'esecuzione intelligente si basa sulla capacità del chip di eseguire le istruzioni in parallelo. In questo modo, il PA-8000 può raggiungere prestazioni superscalari di picco mediante l'esecuzione delle istruzioni man mano che vengono risolte le dipendenze dai dati, indipendentemente dall'ordine sequenziale determinato. Questa capacità, combinata con la grande quantità di unità di esecuzione delle istruzioni, la sofisticata capacità di predizione delle ramificazioni e la funzione di «esecuzione speculativa», permette di ottimizzare l'organizzazione della memoria *cache* e dell'interfaccia a alte prestazioni del bus.

Fin dalla sua presentazione nel 1986, l'architettura HP PA-RISC è stata progettata per restare attuale ben oltre l'inizio del prossimo secolo. HP ha progettato la PA-RISC in modo semplificato e modulare, adatto alle tecnologie future, in grado di ridurre i costi di progetto dei sistemi e accorciare il *time-to-market* dei nuovi prodotti. HP offre attualmente la gamma più ampia di workstation, server e sistemi gestionali basati sulla tecnologia RISC.

La domanda per i computer RISC è in continuo aumento fin dalla consegna dei primi sistemi, immessi sul mercato a metà degli anni Ottanta.

Attualmente, la tecnologia PA-RISC è presente in sistemi HP che vanno dalle workstation più economiche ai sistemi simmetrici multiprocessore a 14 vie con prestazioni di classe mainframe. Si tratta di una dimostrazione della scalabilità intrinseca dell'architettura PA-RISC, obiettivo primario fin dalla definizione originale di questa architettura e garanzia degli investimenti in hardware e software per questa architettura, già effettuati dai clienti.

NATIONAL SEMICONDUCTOR PRESENTA UN NUOVO SOFTWARE INTEGRATO PER L'IMPLEMENTAZIONE DI TEST PIÙ COMPLETI — National Semicondutor (in Italia, Image Time, Via Vela 7 - Milano) ha recentemente annunciato il primo software per open test management: SCAN Embedded Application Software Enabler (SCAN EASE), in grado di facilitare significativamente lo sviluppo di test da parte dei progettisti di sistemi integrati. Il nuovo prodotto segna una svolta nella realizzazione delle capacità di diagnostica «on-board» auspicate dal mercato.

SCAN EASE applica, controlla e valuta i test all'interno di un sistema integrato conforme agli standard IEEE 1149.1, viene quindi meno la necessità di sviluppo di software di diagnostica proprietario in quanto SCAN EASE è indipendente sia dalla memoria che dal processore.

Lo standard 1149.1 è oggi un punto di riferimento comune per una migliorata «testabilità» a livello di scheda; conseguentemente, è stato sviluppato un numero rilevante di componenti conformi a questa normativa, come ad esempio microprocessori, circuiti ASIC, FPGA e circuiti logici. Mediante l'aggiunta di dispositivi per l'indirizzamento di più schede, come ad esempio il modello National SCANPSC110F Bridge e l'interfaccia JTAG per processori (SCANPSC100F Embedded Boundary Scan Controller), i progettisti hanno oggi accesso all'intero sistema per attività di test e diagnostica. Tuttavia, il compito di realizzare un software che consenta un funzionamento pienamente integrato è piuttosto scoraggiante.

SCAN EASE, compatibile sia con ATPG VictoryTM di Teradyne che con strumenti BTPGTM di JTAG Technologies, permette l'accettazione diretta dei vettori di output: in questo modo, oltre a ridurre i tempi ed i costi di sviluppo, si permette ai progettisti di riutilizzare i vettori di test schede esistenti.

Il pacchetto SCAN EASE permette inoltre di integrare in un sistema sia ATPG, sia vettori test personalizzati grazie agli strumenti seguenti:

– *EmbedPrep (Embedded Test Preparation).* Compila in formato EVF (Embedded Vector Format), usato da EmbedTest, vettori test ATPG memorizzati nei formati SVF (Serial Vector Format) o PAT (Pattern Format). EVF è un formato vettore binario compatto adatto alle applicazioni integrate.

– *EmbedTest (Embedded Test).* Controlla il flusso di diagnostica e le comunicazioni tra il sistema integrato e l'amministratore test del sistema remoto. I file EVF a livello di scheda possono essere concatenati per creare un test a livello di sistema. La segmentazione dei test permette a EmbedTest di isolare e registrare informazioni pass/fail al livello segmentato senza eseguire software diagnostico. EmbedTest può essere utilizzato su qualsiasi microprocessore che supporti ANSI C.

– *EmbedComm (Embedded Test Communication).* Fornisce una GUI Windows-TM per l'amministrazione del sistema ed accesso remoto a EmbedTest in esecuzione su un sistema integrato. L'amministratore di sistema può ottenere report relativi ai risultati dei test, scaricare nuovi test e caricare log di dati all'interno dell'interfaccia EmbedComm, consentendo in tal modo di offrire un'assistenza su campo veloce e migliorati tempi di servizio per il cliente.

SCAN EASE completa Embedded Boundary Scan Controller di National, SCANPSC100F, che offre un'interfaccia tra il bus del microprocessore e un bus di diagnostica conforme allo standard 1149.1. Insieme forniscono all'utente la massima flessibilità. SCANPSC100F può avere mappatura I/O o memoria: il codice ed i vettori test verranno eseguiti sulle diverse macchine ricompilandosi automaticamente con il C-compiler a seconda delle caratteristiche della macchina di destinazione.

«National già da tempo fornisce software come elemento integrato dei suoi semiconduttori», spiega Gay O'Donnell della divisione marketing strategico. «Con SCAN EASE abbiamo interpretato il bisogno dei clienti di poter disporre di un software indipendente, che permettesse loro di trarre vantaggio dall'investimento iniziale effettuato passando ai test "on-board"».

(4172)

UN NEGOZIO QUALITY INFORMATICA A MILANO — Giovedì 1 giugno è stato inaugurato a Milano un negozio della catena Quality Informatica presso COIN di P.zza Cinque Giornate. Si tratta di un'iniziativa sperimentale che, se coronata da successo, verrà seguita nei prossimi due anni dall'apertura di altri punti di vendita in altrettanti magazzini COIN. Il negozio è di proprietà di Punto Più, azienda commerciale con sede a Milano e negozi in Veneto e Lombardia.

La scelta di Punto Più concretizza una strategia che vuole collocare punti di vendita di prodotti di tecnologia dell'informazione presso la grande distribuzione commerciale su tutto il territorio nazionale, mantenendo però particolari caratteristiche d'immagine e di rapporto con la clientela.

In questo senso la struttura espositiva dei magazzini COIN, con il multistore, è perfettamente adeguata ad accogliere un negozio che deve tradizionalmente assicurare alla clientela un'assistenza puntuale al momento dell'acquisto. Inoltre, COIN ha una clientela medio-alta sulla quale sono disponibili molte informazioni nella banca dati costruita attraverso l'iniziativa COIN-Card. Infine, i punti vendita COIN assicurano una presenza nelle zone centrali delle principali città italiane.

Il negozio Quality Informatica presso il punto di vendita milanese COIN distribuisce i prodotti di aziende di grande prestigio come Compaq, Hewlett-Packard, Sharp, Microsoft ed Epson. Con queste stesse aziende Quality Informatica ha in programma anche alcune iniziative congiunte di marketing.

Giorgio Palesa, Presidente e Responsabile Commerciale di Punto Più, ha ribadito che l'accordo con COIN ha carattere sperimentale e che «la decisione è scaturita dalla convinzione che il mondo dell'informatica debba fare i conti con la grande distribuzione. Grazie a questo canale si ha infatti l'opportunità di raggiungere alcune tipologie di utenti con un'efficacia prima impossibile. Il multistore COIN è perfettamente adatto al nostro modo di lavorare e di accogliere i clienti e d'altra parte COIN ha mostrato grande disponibilità nel voler condurre questo esperimento».

Per **Punto Più** il fatturato previsto per il '95 sarà attorno ai 15 miliardi, rispetto ai 7 del 1994. Le attività dell'azienda comprendono la distribuzione di prodotti attraverso negozi a Treviso, Venezia, Milano e la fornitura a grandi e medie aziende tramite centri operativi specializzati.

(4170)

APPLE E IBM INSIEME PER LA RICERCA IN ITALIA — Apple Computer e IBM hanno deciso di collaborare anche in Italia nello sviluppo delle tecnologie del software con particolare attenzione alle aree di mercato emergenti, come la programmazione a oggetti e le applicazioni multimediali.

L'accordo raggiunto da Apple Italia e da IBM Semea prevede la costituzione di un Consorzio di Ricerca, CORINTO (Consorzio Ricerca Nazionale Tecnologie a Oggetti), di cui fa parte anche SELFIN, una azienda controllata dalla IBM italiana.

Il Consorzio ha già iniziato a operare e sarà costituito da 45 ricercatori. Di questi, 35 saranno neolaureati provenienti dalle regioni dell'Italia meridionale.

Le sedi, a Napoli e Bari, utilizzano la rete INTERNET e si collegheranno, in via telematica, ai laboratori nazionali e internazionali di Apple e IBM.

Sono previste collaborazioni con il CNR e con altri Enti di Ricerca e Università.

Sergio Nanni, amministratore delegato di Apple Italia e general manager di Apple South Europe, ha così commentato: «Il Consorzio Corinto conferma lo sviluppo, anche in Italia, della collaborazione tra Apple e IBM che, a livello mondiale, ha già portato a realizzazioni di grande importanza nell'area sia delle tecnologie hardware sia di quelle software. Esempi significativi sono la famiglia di microprocessori PowerPC e il nuovo ambiente OpenDoc per lo sviluppo di software modulare».

Tomaso Quattrin, amministratore delegato di IBM Semea, ha dichiarato: «Con il Consorzio Corinto la IBM si impegna sulle nuove frontiere dell'informatica, in coerenza con la politica di apertura e di alleanze sviluppata in tutto il mondo. Certamente, quella del software a oggetti è, con le telecomunicazioni e la multimedialità, una delle tecnologie chiave del futuro».

(4176)